ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Estrategia, planeación y operación

Quinta edición

Sunil Chopra
Peter Meindl

ALWAYS LEARNING

PEARSON

ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Estrategia, planeación y operación

Quinta edición

Sunil Chopra
Kellogg School of Management

Peter Meindl
Kepos Capital

Traducción

Rodolfo Navarro Salas
Ingeniero mecánico
Universidad Nacional Autónoma de México

Jesús Elmer Murrieta Murrieta
Maestro en Investigación de operaciones
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Morelos

Revisión técnica

Erick Porras
Departamento de Operaciones
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Santa Fe

Marco Antonio Montúfar Benítez
Departamento de Ciencias Básicas e Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Toluca

PEARSON

Datos de catalogación bibliográfica

Sunil Chopra y Peter Meindl

Administración de la cadena de suministro

Quinta edición

PEARSON EDUCACIÓN,
México, 2013

ISBN: 978-607-32-2133-7
Área: Ingeniería

Formato: 20 × 25.5 cm Páginas: 528

ISBN **9780132743952**

Edición en español

Dirección general:	Philip de la Vega
Dirección Educación Superior:	Mario Contreras
Editor Sponsor:	Luis M. Cruz Castillo
	e-mail: luis.cruz@pearson.com
Editor de Desarrollo:	Bernardino Gutiérrez Hernández
Supervisor de Producción:	Juan José García Guzmán
Gerencia Editorial	
Educación Superior Latinoamérica:	Marisa de Anta

QUINTA EDICIÓN, 2013

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. núm. 1031.

ISBN VERSIÓN IMPRESA: 978-607-32-2133-7
ISBN VERSIÓN E-BOOK: 978-607-32-2134-4
ISBN E-CHAPTER: 978-607-32-2132-0

Impreso en México. Printed in Mexico.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 16 15 14 13

PEARSON

www.pearsonenespañol.com

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis colegas en Kellogg por todo lo que he aprendido de ellos sobre logística y administración de cadenas de suministro. Estoy agradecido por el amor y el aliento que mis padres, Krishan y Pushpa, y mis hermanas, Sudha y Swati, siempre me han brindado en todo lo que he emprendido en mi vida. Agradezco a mis hijos Ravi y Rajiv, por la alegría que me han dado. Por último, nada de esto habría sido posible sin el amor, comprensión y apoyo constantes de mi esposa, María Cristina.

—Sunil Chopra

Deseo expresar mi agradecimiento a tres mentores, Sunil Chopra, Hau Lee y Gerry Lieberman, de quienes he aprendido tanto. También agradezco a mis padres y hermana por su amor, y a mis hijos, Jamie y Eric, por hacerme sonreír y enseñarme el verdadero significado de la vida. Aún más importante es mi agradecimiento hacia mi esposa, Sarah, quien hace que la vida sea maravillosa y a quien amo con todo mi corazón.

—Peter Meindl

ACERCA DE LOS AUTORES

SUNIL CHOPRA



Sunil Chopra es profesor distinguido de Administración de Operaciones y Sistemas de Información de IBM en Kellogg School of Management. Se ha desempeñado como decano interino y decano asociado en jefe del plan de estudios y docencia, y codirector del programa de maestría en Administración y manufactura, un programa doble de posgrado que ofrecen conjuntamente Kellogg School of Management y McCormick School of Engineering en Northwestern University. Tiene un doctorado en investigación de operaciones de SUNY en Stony Brook. Antes de incorporarse a Kellogg, impartió clases en la New York University y trabajó un año en IBM Research.

Los intereses de investigación y enseñanza del profesor Chopra se centran en la administración y logística de la cadena de suministro, la administración de operaciones y el diseño de redes de telecomunicaciones. Se ha hecho acreedor a varios premios en los programas de maestría y ejecutivos de Kellogg. Es autor de más de 40 artículos y dos libros.

Ha sido editor de *Management Science* y editor asociado de las publicaciones *Manufacturing & Service Operations Management*, *Operations Research* y *Decision Sciences Journal*. Su investigación reciente se ha enfocado en la comprensión del riesgo de la cadena de suministro y en idear estrategias para amortiguarlo de manera eficaz y a bajo costo. También ha sido consultor para varias empresas en el área de administración de la cadena de suministro y operaciones.

PETER MEINDL



Peter Meindl trabaja para Kepos Capital. Anteriormente se desempeñó como director de investigación con Barclays Global Investors, como consultor de Boston Consulting Group y Mercer Management Consulting, y director de estrategia corporativa de la compañía de software i2 Tecnologies. Tiene un doctorado, una maestría y dos licenciaturas por la universidad de Stanford, y una maestría de Kellogg School en Northwestern University.

La primera edición de este libro ganó el prestigiado premio Book of the Year en 2002, que otorga el Institute of Industrial Engineers.

CONTENIDO

PREFACIO

Este libro está dirigido tanto para académicos como para profesionistas. Por el lado académico, es apropiado para estudiantes que están cursando carreras de administración de empresas, ingeniería industrial, maestrías de ingeniería, y para aquellos en el último año y están interesados en la administración y logística de la cadena de suministro. También es muy útil como referencia tanto de conceptos como de metodologías para los profesionales que se desempeñan en el área de consultoría y otras ramas de la industria.

LO NUEVO EN ESTA EDICIÓN

Esta quinta edición se enfoca en ampliar los cambios que se incorporaron en la cuarta edición. También agregamos cambios específicos, basados en la retroalimentación de revisores, que consideramos mejoran significativamente el contenido del libro y facilitan su uso por parte de profesores y alumnos.

- Agregamos varios minicasos a lo largo de todo el libro. En los capítulos 3, 5, 6, 12 y 14 aparecen casos nuevos. En otros, la información se actualizó.
- Para los ejemplos numéricos analizados en el libro, contamos con hojas de cálculo que los estudiantes pueden utilizar para una mejor comprensión de los conceptos. Las hojas de cálculo proporcionan los detalles del ejemplo analizado; pero son las hojas de cálculo "vivas" las que permiten al estudiante realizar diferentes pruebas "qué pasa si…". Estas hojas de cálculo se encuentran disponibles en el sitio Web de este libro.
- En el capítulo 3 agregamos una sección sobre métricas y razones financieras, y las vinculamos con las diferentes métricas y controladores de la cadena de suministro. Este capítulo permite al profesor posicionar la administración de la cadena de suministro ya que impacta directamente el desempeño financiero de la empresa. También agregamos un minicaso de apoyo con el cual los estudiantes pueden escrudiñar las finanzas de Walmart con todo detalle.
- Mejoramos el capítulo 6, el cual se enfoca en el diseño de cadenas de suministro globales. En particular, en la sección 6.6 incluimos un ejemplo detallado que considera la decisión de la localización interna/localización externa como una opción real en el contexto de la incertidumbre. En este capítulo también incluimos un minicaso para considerar la decisión de localización externa/localización interna.
- La coordinación de la cadena de suministro (capítulo 17 en la cuarta edición) ahora es una parte del módulo sobre "Planeación y coordinación de la demanda y la oferta en la cadena de suministro". Basados en la retroalimentación de los revisores, decidimos que era apropiado incluir los análisis de la colaboración y coordinación con los análisis de pronóstico y ventas, así como los de la planeación de operaciones.
- El análisis sobre errores de pronóstico se mejoró en el capítulo 7 y se seleccionó la mejor constante de suavización.
- En el capítulo 8 mejoramos el análisis sobre la identificación de la unidad agregada y la desagregación del plan agregado.
- En el capítulo 9, ahora contamos con una hoja de cálculo que permite a los estudiantes repasar todo el proceso de planeación de ventas y operaciones del ejemplo presentado. Incluimos hojas de cálculo que permiten a los estudiantes elaborar cada una de las tablas que se muestran en los capítulos 7 a 9.
- En el capítulo 11 agregamos ejemplos numéricos que apoyan el análisis de la lógica de los descuentos por cantidad y se proporcionan hojas de cálculo de apoyo para los estudiantes.
- Al capítulo 12 le agregamos ejemplos numéricos que apoyan el valor del análisis sobre el aplazamiento y un minicaso que investiga una decisión de potencialmente postergar el empacado.
- En el capítulo 13 mejoramos y resaltamos el análisis sobre el aplazamiento adaptado.
- En el capítulo 14 mejoramos los ejemplos cuantitativos que apoyan el análisis cualitativo sobre el diseño de redes de transporte. Los estudiantes también dispondrán de hojas de cálculo "vivas" para usarlas con estos ejemplos. Un minicaso al final del capítulo permite a los estudiantes escudriñar más a fondo los factores cuantitativos en el diseño de red de transporte.

- En el capítulo 15 mejoramos el debate de contratos de reparto de riesgo y la cadena de suministro. Aquí también se dispone de hojas de cálculo con las que se pueden evaluar diferentes opciones de reparto del riesgo. El capítulo también contiene un análisis mejorado del aprovisionamiento personalizado cuando se diseña una cartera de proveedores.
- Un nuevo capítulo, el 18, sobre sustentabilidad y la cadena de suministro.
- Todos los ejemplos nuevos que hemos incluido en el libro son actuales y tienen un enfoque global.

Este libro evolucionó a partir de un curso de administración de la cadena de suministro impartido a estudiantes de segundo año de la maestría de administración de empresas en Kellogg School of Management, en la Northwestern University. El objetivo de este curso era cubrir no sólo las estrategias y conceptos de alto nivel de la cadena de suministro, sino también proporcionar a los estudiantes una comprensión sólida de las herramientas analíticas necesarias para resolver los problemas que surjan al respecto. Con el objetivo de este curso en mente, nuestra meta fue crear un libro que ayudara a una buena comprensión de las siguientes áreas clave y sus interrelaciones:

- El rol estratégico de una cadena de suministro.
- Los controladores estratégicos clave del desempeño de la cadena de suministro.
- Las metodologías analíticas para el análisis de la cadena de suministro.

Nuestro primer objetivo es que el lector reconozca la importancia estratégica para cualquier empresa de un buen diseño de la cadena de suministro, así como su planeación y operación. El lector debe ser capaz de comprender que la buena administración de la cadena de suministro puede ser una ventaja competitiva, mientras que una débil puede dañar el funcionamiento de una empresa. Utilizamos muchos ejemplos para ilustrar esta idea y desarrollar un marco de trabajo para la estrategia de la cadena de suministro.

Dentro de este marco de trabajo estratégico identificamos las instalaciones, el inventario, el transporte, la información, el aprovisionamiento, y la fijación de precios, como los controladores clave del desempeño de la cadena de suministro. Un segundo objetivo es explicar cómo pueden usarse estos controladores en un nivel conceptual y práctico durante el diseño, planeación y operación de la cadena de suministro para mejorar su funcionamiento. Incluimos el caso de Seven-Eleven Japan para ilustrar cómo utiliza esta compañía varios controladores para mejorar su cadena de suministro. Para cada controlador del desempeño, nuestro objetivo es dotar a los lectores de los medios y conceptos administrativos que se puedan utilizar para mejorar la competencia de la cadena de suministro.

El uso de estos medios administrativos implica el conocimiento de metodologías analíticas para el estudio de la cadena de suministro. Nuestro tercer objetivo es que el lector entienda estas metodologías. Cada exposición metodológica se ilustra con su aplicación en Excel. En este análisis también ponemos énfasis en el contexto administrativo en el cual se utiliza la metodología y los medios administrativos para su mejoramiento.

Los marcos y conceptos estratégicos examinados en este libro se interrelacionan a través de varios ejemplos que muestran la necesidad de combinar los conceptos para incrementar significativamente el rendimiento.

PARA LOS PROFESORES

Los siguientes apoyos están disponibles para los profesores que adopten este libro en su curso.

Centro de recursos para el profesor en inglés

REGISTRO, CANJE, INICIO DE SESIÓN. En el sitio Web de este libro (www.pearsonenespañol.com/chopra) los profesores encontrarán una gran cantidad de recursos descargables para imprimir y para presentaciones, como apoyo para sus cursos con este libro.

MANUAL DE SOLUCIONES PARA EL PROFESOR. Este manual está en formato de Microsoft Word y contiene temarios de muestra, apuntes de clase por capítulo y soluciones a todas las preguntas que se presentan al final de cada capítulo. Las hojas de cálculo de soluciones se proporcionan en Microsoft Excel. En los casos que aplica, se proporcionan soluciones tanto en Excel como en Word.

BANCO DE EXÁMENES (TEST ITEM FILE). Este archivo contiene preguntas del tipo verdadero/falso, de opción múltiple y del tipo prueba y error.

DIAPOSITIVAS EN POWERPOINT. Estas diapositivas proporcionan al profesor apuntes y guías para acompañar su clase siguiendo este texto. Las diapositivas incluyen muchas de las figuras y tablas utilizadas en el libro. Estos apuntes de clase pueden usarse tal como están; o bien, pueden ser modificados fácilmente para adaptarse a necesidades de presentación específicas.

PARA LOS ESTUDIANTES

El siguiente material está disponible, para estudiantes y usuarios de este libro, en www.pearsonenespañol.com/chopra:

- Hojas de cálculo para resolver los ejemplos numéricos explicados en el libro. Contienen los detalles del ejemplo presentado y permiten realizar pruebas del tipo "qué pasa si…".
- Con estas hojas de cálculo puede elaborar cada una de las tablas mostradas en los capítulos 7 a 9.

RECONOCIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las muchas personas que nos ayudaron a lo largo de este proceso. Agradecemos a los revisores cuyas sugerencias mejoraron el libro de una forma muy importante, entre ellos Iqbal Ali, de la University of Massachusetts, Amherst; Ming Ling Chuang, de la Western Connecticut State University; Chia-Shin Chung, de la Cleveland State University; Phillip G. Cohen, del San Jacinto College North Campus; Sime Curkovi, de la Western Michigan University; Chunxing Fan, de la Tennessee State University; Srinagesh Gavirneni, de la Cornell University; Richard Germain, de la University of Louisville; Dr. Michael R. Godfrey, de la University of Wisconsin, Oshkosh; Scott E. Grasman, de la Missouri University of Science & Technology; Jatinder (Jeet) Gupta, de la University of Alabama, Huntsville; James K. Higginson de la University of Waterloo (Ontario); James K. Ho, de la University of Illinois en Chicago; Patrick Jeffers, de la lowa State University; Mehdi Kaighobadi, de la Florida Atlantic University; Alireza Lari, de la Fayetteville State University; Bryan Lee, del Missouri Western State College; Jianzhi (James) Li, de la University of Texas—Pan American; Arnold Maltz, de la Arizona State University; Daniel Marrone, de SUNY Farmingdale; Charles Munson, de la Washington State University; James Noble, de la University of Missouri, Columbia; William Roach, de la Washburn University; Subroto Roy, de la University of New Haven; Effie Stavrulaki, de la Pennsylvania State University; Scott Thorne, de la Southeast Missouri State University, Frenck Waage, de la University of Massachusetts; Chongqi Wu, de la California State University, East Bay, Boston, y Kefeng Xu, de la University of Texas, en San Antonio.

Manifestamos también nuestro agradecimiento a los estudiantes de Kellogg School of Management, que sufrieron con los borradores plagados de errores de las primeras versiones de este libro. En especial agradecemos a Christoph Roettelle y Vikas Vats por la cuidadosa revisión de varios capítulos y la solución de los problemas que aparecen al final de los capítulos de las primeras ediciones. También queremos darle las gracias a nuestro editor, Chuck Synovec, y al personal de Prentice Hall, en especial a Clara Bartunek, gerente del proyecto de producción; Anne Fahlgren, gerente ejecutiva de marketing; Mary Kate Murray, gerente en jefe del proyecto, y a Ashlee Bradbury, asistente editorial. Por último, deseamos agradecer a nuestros usuarios por leerlo y utilizarlo. Esperamos que contribuya a mejorar el desempeño de todas las compañías y las cadenas de suministro en el mundo. Finalmente, nos encantaría escuchar sus comentarios y sugerencias para ediciones futuras de este libro.

Sunil Chopra

Kellogg School of Management Northwestern University

Peter Meindl

Kepos Capital

1



Qué es la cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo deberá ser capaz de:

1. Conocer el objetivo de una cadena de suministro y explicar el impacto de las decisiones relacionadas con ésta en el éxito de una empresa.
2. Identificar las tres fases clave de decisión en una cadena de suministro y explicar la importancia de cada una.
3. Describir la visualización de ciclo y de empuje/tirón de una cadena de suministro.
4. Clasificar los procesos macro de la cadena de suministro en una empresa.

En este capítulo proporcionamos una interpretación conceptual de lo que es una cadena de suministro y los diversos aspectos que deben considerarse cuando se diseña, planea u opera una cadena de suministro. Analizamos la importancia de las decisiones tomadas en relación con la cadena de suministro y el desempeño de ésta para el éxito de una empresa. También proporcionamos varios ejemplos de diferentes industrias, para destacar los temas relacionados con una cadena de suministro que las compañías deben considerar en los ámbitos estratégico, de planeación y de operación.

1.1 ¿QUÉ ES UNA CADENA DE SUMINISTRO?

Una *cadena de suministro* se compone de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, para satisfacer la petición de un cliente. La cadena de suministro incluye no sólo al fabricante y los proveedores, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (menudeo), e incluso a los clientes mismos. Dentro de cada organización, supongamos un fabricante, la cadena de suministro incluye todas las funciones implicadas en la recepción y satisfacción del pedido de un cliente. Estas funciones incluyen, sin limitarse, el desarrollo de un nuevo producto, el marketing, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente.

Consideremos a un cliente que va a una tienda Walmart a comprar un detergente. La cadena de suministro comienza con el cliente y su necesidad del detergente. La siguiente etapa de esta cadena de suministro es la tienda Walmart que el cliente visita. Walmart llena sus estantes de productos con base en inventarios, que puede abastecer un almacén de productos terminados, o por un distribuidor que empleó camiones proporcionados por terceros. Al distribuidor a su vez lo abastece el fabricante (digamos Procter & Gamble [P&G] en este caso). La planta de P&G recibe la materia prima de distintos proveedores, quienes a su vez pudieron haber sido abastecidos por proveedores de menor nivel. Por ejemplo, el material de empaque (envasado) podría provenir de Pactiv Corporation (antes Tenneco Packaging), en tanto que Pactiv recibe materias primas de otros proveedores para producir los empaques. Esta cadena de suministro se ilustra en la figura 1-1, donde las flechas indican la dirección del flujo físico del producto.

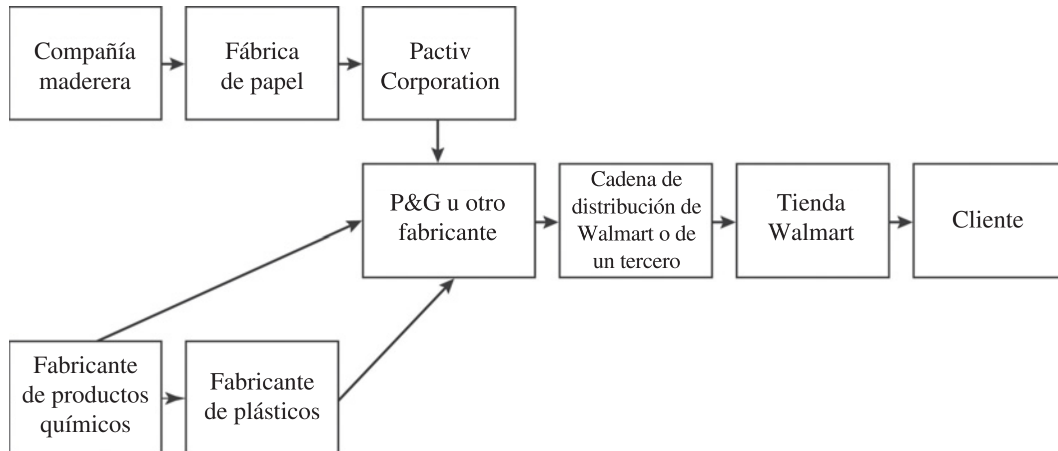


FIGURA 1-1 Etapas de la cadena de suministro de un detergente.

Una cadena de suministro es dinámica e implica el flujo constante de información, productos y fondos entre diferentes etapas. En nuestro ejemplo, Walmart proporciona el producto, así como también información al cliente sobre el precio y disponibilidad. El cliente transfiere fondos a Walmart, que, a su vez, hace llegar datos de punto de ventas y órdenes de reabastecimiento al almacén o al distribuidor, quien transfiere la orden de reabastecimiento a la tienda a través de camiones. Walmart transfiere fondos al distribuidor después del reabastecimiento. El distribuidor también proporciona información de precios y envía programas de entrega a Walmart, quien puede devolver el material de empaque para su reciclaje. Flujos similares de información, materiales y fondos ocurren a lo largo de toda la cadena de suministro.

En otro ejemplo, cuando un cliente realiza una compra en línea en el sitio Web de Dell Computer, la cadena de suministro incluye, entre otros, al cliente, el sitio Web de Dell, la planta de ensamble Dell, a todos los proveedores de Dell y a los proveedores de éstos. El sitio Web proporciona al cliente información sobre precios, variedad de productos y disponibilidad de los mismos. Una vez que selecciona un producto, el cliente introduce la información del pedido y paga el producto. Posteriormente el cliente puede regresar al sitio Web para verificar el estado del pedido. Las etapas superiores de la cadena de suministro utilizan la información del pedido del cliente para surtirlo. Ese proceso implica un flujo adicional de información, productos y fondos entre varias etapas de la cadena de suministro.

Estos ejemplos ilustran que el cliente es una parte integral de la cadena de suministro. De hecho, el propósito primordial de cualquier cadena de suministro es satisfacer las necesidades del cliente y, en el proceso, generar una ganancia para sí misma. El término *cadena de suministro* evoca imágenes de un producto o suministro moviéndose, a lo largo de una cadena, de proveedores a fabricantes, a distribuidores, a detallistas, a clientes. Esto es ciertamente una parte de la cadena de suministro, pero también es importante visualizar los flujos de información, productos y fondos en ambas direcciones de esta cadena. El término *cadena de suministro* también puede implicar que sólo un actor participa en cada etapa. En realidad, un fabricante puede recibir material de varios proveedores y luego abastecer a varios distribuidores. Por consiguiente, de hecho la mayoría de las *cadenas de suministro* son redes. Quizá sea más preciso utilizar el término *red de suministro* para describir la estructura de la mayoría de las cadenas de suministro, como se muestra en la figura 1-2.

Una cadena de suministro puede incluir varias etapas, como las siguientes:

- Clientes
- Detallistas
- Mayoristas y distribuidores
- Fabricantes
- Proveedores de componentes y materias primas

Cada etapa en una cadena de suministro está conectada por el flujo de productos, información y fondos. Estos flujos suelen ocurrir en ambas direcciones y pueden ser gestionados por una de las etapas o un intermediario. No es necesario que cada una de las etapas que aparecen en la figura 1-2 esté presente en una cadena

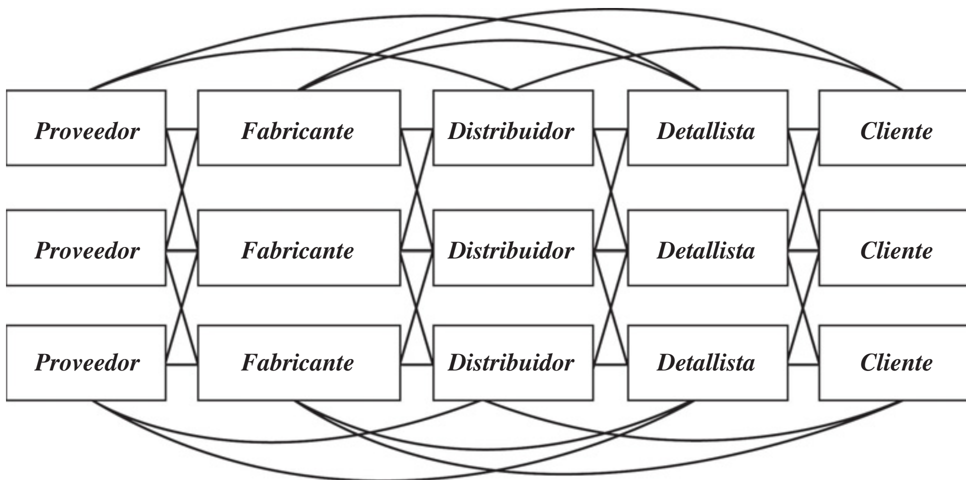


FIGURA 1-2 Etapas de una cadena de suministro.

de suministro. Como se explica en el capítulo 4, el diseño apropiado de la cadena de suministro depende tanto de las necesidades del cliente como de las funciones realizadas por las etapas implicadas. Por ejemplo, Dell dispone de dos estructuras de cadena de suministro que utiliza para atender a sus clientes. Para los clientes corporativos y algunas personas que desean una computadora (PC) personalizada, Dell construye sobre pedido; es decir, la solicitud de un cliente inicia la fabricación en Dell. Para estos clientes Dell no dispone de un detallista, distribuidor o mayorista en su cadena de suministro. Desde 2007, Dell también vende sus computadoras personales a través de Walmart en Estados Unidos y GOME Group, el mayor detallista de productos electrónicos de China. Tanto Walmart como GOME Group tienen máquinas Dell en inventario. Esta cadena de suministro contiene, por consiguiente, una etapa extra (el detallista) comparada con el modelo de ventas directas que también utiliza Dell. En el caso de otras tiendas detallistas, la cadena de suministro también puede contener un mayorista o distribuidor entre la tienda y el fabricante.

1.2 OBJETIVO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO

El objetivo de toda cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado. El *valor* (también conocido como *superávit de la cadena de suministro*) que genera una cadena de suministro es la diferencia entre lo que el cliente paga por el producto final y los costos en que incurre la cadena para cumplir con el pedido.

Superávit de la cadena de suministro = Valor para el cliente – Costo para la cadena de suministro

Es posible que el valor del producto final varíe para cada cliente y puede estimarse por la cantidad máxima que el cliente desea pagar por él. La diferencia entre el valor del producto y su precio permanece con el cliente como *superávit para el cliente*. El resto del superávit de la cadena de suministro se transforma en *rentabilidad de la cadena de suministro*; es decir, la diferencia entre el ingreso generado por el cliente y el costo total a través de la cadena de suministro. Por ejemplo, un cliente que compra un ruteador inalámbrico en Best Buy paga $60.00,* que representan el ingreso que la cadena de suministro recibe. Los clientes que compran el ruteador lo valoran en más o menos $60. Por tanto, una parte del superávit de la cadena de suministro permanece con el cliente como superávit; el resto permanece con la cadena de suministro como utilidad. Best Buy y otras etapas de la cadena de suministro incurren en costos para transferir información, producir componentes, almacenarlos, transportarlos, transferir fondos, etc. La diferencia entre los $60 que el cliente pagó y la suma de todos los costos en que incurrió la cadena de suministro para producir el ruteador

* Las cantidades presentadas en este libro son ilustrativas y están en dólares estadounidenses, a menos que se indique específicamente otra moneda.

representa la rentabilidad de la cadena de suministro, la cual es la utilidad total compartida por todas las etapas de la cadena e intermediarios. Cuanto más alta sea la rentabilidad de la cadena de suministro, más exitosa será la cadena. Para la mayoría de las cadenas de suministro que obtienen utilidades, su superávit tendrá mucho que ver con las utilidades. El éxito de una cadena de suministro debe medirse en función de su rentabilidad y no en función de las utilidades en una etapa individual. (En capítulos subsiguientes veremos que centrar la atención en la rentabilidad de etapas individuales puede conducir a una reducción de las utilidades totales de la cadena de suministro). Enfocarse en aumentar el superávit de la cadena de suministro presiona a todos sus miembros para hacer crecer el tamaño del pastel.

Una vez definido el éxito de una cadena de suministro en función de su rentabilidad, el siguiente paso lógico es buscar fuentes de valor, ingresos y costos. Para cualquier cadena de suministro sólo hay una fuente de ingresos: el cliente. El valor obtenido por un cliente que compra detergente en Walmart depende de varios factores, entre ellos la funcionalidad del detergente, la distancia que recorrió para llegar a Walmart, y la probabilidad de encontrar el detergente en existencia. El cliente es el único que proporciona flujo de efectivo positivo para la cadena de suministro de Walmart. Todos los demás flujos de efectivo son simplemente intercambios de fondos que ocurren dentro de la cadena de suministro, dado que las diferentes etapas tienen diversos propietarios. Cuando Walmart paga a su proveedor, toma una parte de los fondos que el cliente proporciona y pasa ese dinero al proveedor. Todos los flujos de información, productos o fondos generan costos dentro de la cadena de suministro. Por consiguiente, la administración apropiada de estos flujos es una de las claves del éxito de una cadena de suministro. Una eficaz *administración de la cadena de suministro* implica la administración de sus activos y flujos de productos, información y fondos para maximizar su superávit. El crecimiento del superávit de una cadena de suministro incrementa el tamaño del pastel, lo que permite que los miembros de la cadena compartan el beneficio.

En este libro nos concentramos en analizar todas las decisiones relacionadas con la cadena de suministro en función del impacto que tienen en el superávit de la cadena. Estas decisiones y su impacto pueden variar debido a una amplia variedad de razones. Por ejemplo, consideremos la diferencia en la estructura de una cadena de suministro de bienes de consumo de movimiento rápido que se observa en Estados Unidos y en India. Los distribuidores estadounidenses desempeñan un rol mucho menor en esta cadena de suministro en comparación con sus homólogos indios. La diferencia en la estructura de suministro se explica por el impacto de un distribuidor en el superávit de la cadena de suministro en los dos países.

La venta al menudeo en Estados Unidos está muy consolidada, con grandes cadenas que compran bienes de consumo de la mayoría de los fabricantes. Esta consolidación permite a los detallistas una escala suficiente ya que la introducción de un intermediario como distribuidor tiene poca injerencia en la reducción de los costos y en realidad puede incrementarlos debido a la transacción adicional. En contraste, en India hay millones de minoristas. El tamaño pequeño de las tiendas limita la cantidad de inventario que pueden mantener, por lo que requieren un reabastecimiento frecuente; un pedido puede compararse con la compra de la despensa semanal de una familia estadounidense. La única manera de que un fabricante mantenga los costos de transporte bajos es acercar camiones llenos de productos al mercado y luego distribuirlos localmente haciendo recorridos cortos con vehículos más pequeños. La presencia de un intermediario que puede recibir un embarque completo, dividir el volumen y luego hacer pequeñas entregas a los minoristas, es crucial si los costos de transporte deben mantenerse bajos. La mayoría de los distribuidores indios son tiendas de una parada que venden de todo, desde aceite de cocina hasta jabones y detergentes producidos por varios fabricantes. Además de la comodidad que proporciona este tipo de tiendas, los distribuidores en la India también son capaces de reducir los costos de transporte de entrega a detallistas, ya que durante los recorridos de entrega van agregando productos de múltiples fabricantes. Otra ventaja es que también manejan la cobranza, ya que su costo es significativamente más bajo que el del fabricante que le cobra a los detallistas. De este modo, el importante rol de los distribuidores en India se explica por el crecimiento del superávit de la cadena de suministro que resulta de su presencia. El argumento del superávit de la cadena de suministro implica que conforme la venta al detalle comience a consolidarse, el papel de los distribuidores disminuirá.

1.3 IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Existe una estrecha conexión entre el diseño y la administración de los flujos de una cadena de suministro (productos, información y fondos) y su éxito. Walmart, Amazon y Seven-Eleven Japón son ejemplos de

compañías que han construido su éxito sobre un diseño, planeación y operación superiores de su cadena de suministro. Por el contrario, el fracaso de muchas empresas en línea como Webvan puede atribuirse a debilidades en el diseño y planeación de su cadena de suministro. El surgimiento y subsecuente caída de la cadena de librerías Borders ilustra cómo el hecho de no adaptar su cadena de suministro a un entorno cambiante y a las expectativas de sus clientes, dañó su desempeño. Dell Computer es otro ejemplo de una compañía que tuvo que revisar el diseño de su cadena de suministro en respuesta a los cambios tecnológicos y a las necesidades del cliente. Más adelante, en esta sección, analizamos estos ejemplos.

Walmart ha sido líder en el uso del diseño, planeación y operación de una cadena de suministro para alcanzar el éxito. Desde sus inicios, la compañía invirtió fuertemente en infraestructura de transporte e información para facilitar el flujo eficaz de bienes e información. Walmart diseñó su cadena de suministro con grupos de tiendas alrededor de centros de distribución para facilitar, de una manera rentable, el reabastecimiento frecuente en sus tiendas detallistas. Esta medida permite a las tiendas igualar la oferta y la demanda con más eficacia que la competencia. Walmart ha sido líder al compartir información y colaborar con los proveedores para reducir los costos y mejorar la disponibilidad de los productos. Los resultados son impresionantes. En su informe anual de 2010 reportó una utilidad neta de más de $14,300 millones con ingresos de aproximadamente $408,000 millones. Estos son resultados asombrosos para una compañía que en 1980 alcanzaba ventas anuales de sólo $1,000 millones. El incremento de las ventas representa una tasa de crecimiento compuesta de más de 20%.

Seven-Eleven Japón es otro ejemplo de una compañía que cuenta con un diseño, planeación y operación excelentes de la cadena de suministro para impulsar el crecimiento y la rentabilidad. Ha utilizado un sistema de reabastecimiento de respuesta rápida junto con un excepcional sistema de información para garantizar que los productos estén disponibles en cada una de sus tiendas de conveniencia para satisfacer las necesidades de los clientes. Su capacidad de respuesta le permite cambiar el surtido de mercancías en cada tienda a la hora precisa para satisfacer la demanda de los clientes. En consecuencia, las ventas de la compañía se incrementaron de 1,000 millones de yenes en 1974 a casi 3 billones de yenes en 2009, con utilidades en ese año por un total de 164,000 millones de yenes.

El fracaso de muchas empresas de comercio electrónico como Webvan y Kozmo puede atribuirse a su incapacidad de diseñar cadenas de suministro apropiadas, o a una ineficaz administración de los flujos de la cadena de suministro. Webvan diseñó una cadena de suministro con grandes almacenes en varias ciudades importantes de Estados Unidos, desde donde se entregaban las provisiones en el domicilio de los clientes. Este diseño de cadena de suministro no podía competir en función de costos con las cadenas de suministro tradicionales de los supermercados, ya que éstas llevan el producto a un supermercado cercano al cliente por medio de camiones llenos de mercancías, lo que produce costos de transporte muy bajos. Rotan su inventario relativamente rápido y dejan que el cliente realice la mayor parte de la actividad de selección en la tienda. En contraste, Webvan rotaba su inventario marginalmente más rápido que los supermercados pero incurría en costos más altos de transporte por la entrega a domicilio y de mano de obra más cara para surtir los pedidos de los clientes. El resultado fue una compañía que fracasó en 2001, a dos años de una oferta pública inicial muy exitosa.

Como la experiencia de Borders lo ilustra, la omisión de adaptar las cadenas de suministro a un entorno cambiante puede dañar significativamente el desempeño. Borders, junto con Barnes & Noble dominaron la venta de libros y música en la década de 1990 al implementar el concepto de súper tienda. Comparadas con librerías locales que dominaban la industria antes de dicho concepto, Border fue capaz de ofrecer una mayor variedad (aproximadamente 100,000 títulos en las súper tiendas, en comparación con menos de 10,000 títulos en una librería local) a menor costo a sus clientes al agregar las operaciones en grandes tiendas. Esto permitió a la compañía realizar rotaciones de inventario más rápidas que las de las librerías locales con costos de operación más bajos por dólar de ventas. En 2004, Border alcanzó ventas de casi $4,000 millones con utilidades de $132 millones. Sin embargo, su modelo ya estaba siendo amenazado por el crecimiento de Amazon, la cual ofrecía mucha mayor variedad que Borders a bajo costo con sus ventas en línea y almacenamiento de sus inventarios en unos cuantos centros de distribución. La incapacidad de Borders de adaptar su cadena de suministro para competir con Amazon la condujo a un rápido declive. En 2009, las ventas se habían reducido a $2,800 millones y la compañía perdió $109 millones ese año.

Dell es otro ejemplo de una compañía que disfrutó un asombroso éxito por el diseño, planeación y operación de su cadena de suministro, pero luego tuvo que adaptar su cadena de suministro en respuesta a

Punto clave

Las decisiones de diseño, planeación y operación de una cadena de suministro desempeñan una función importante en el éxito o fracaso de una empresa. Para permanecer competitivas, las cadenas de suministro deben adaptarse a los cambios tecnológicos y a las expectativas de los clientes.

cambios tecnológicos y expectativas de los clientes. Entre 1993 y 2006 Dell experimentó un crecimiento sin precedentes, tanto de ingresos como de utilidades, al estructurar una cadena de suministro que proporcionaba computadoras personalizadas a sus clientes, con rapidez y a un costo razonable. En 2006 Dell obtuvo una utilidad neta de más de $3,500 millones sobre ingresos de un poco más de $56,000 millones. Este éxito se basó en dos aspectos clave de la cadena de suministro que apoyaron la rápida personalización de bajo costo. El primero fue la decisión de Dell de vender directamente al cliente final, pasando por alto a distribuidores y detallistas. El segundo aspecto clave de la cadena de suministro fue centralizar la fabricación e inventarios en unos cuantos lugares donde el ensamble final se posponía hasta la llegada del pedido del cliente. En consecuencia, Dell fue capaz de ofrecer una gran variedad de configuraciones de computadoras personales, al mismo tiempo que mantenía niveles bajos de inventarios de componentes.

A pesar de este gran éxito, el mercado cambiante presentó algunos nuevos retos para Dell. En tanto que la cadena de suministro de Dell era muy adecuada para las PC altamente personalizadas, el mercado cambiaba a niveles más bajos de personalización.

Dada la creciente potencia del hardware, los clientes se sentían satisfechos con pocos modelos. Dell reaccionó ajustando su cadena de suministro en cuanto a ventas directas y respecto del ensamblaje sobre pedido. La compañía comenzó a vender sus computadoras personales a través de cadenas de tiendas detallistas como Walmart en Estados Unidos y GOME en China. También cambió gran parte de sus operaciones de ensamble a lugares de bajo costo, al tiempo que producía con eficacia para aumentar las existencias en lugar de hacerlo sobre pedido. A diferencia de Border, Dell está haciendo un importante esfuerzo para adaptar su cadena de suministro a los tiempos cambiantes. Aún está por verse si tales cambios mejorarán el desempeño de Dell.

En la siguiente sección clasificamos las fases de decisión en la cadena de suministro con base en la frecuencia con que se toman y el marco de tiempo que consideran.

1.4 FASES DE DECISIÓN EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

La administración de una cadena de suministro exitosa requiere muchas decisiones relacionadas con el flujo de información, productos y fondos. Cada decisión debe tomarse para incrementar el superávit de la cadena de distribución. Estas decisiones caen dentro de tres categorías o fases, según la frecuencia de cada decisión y el marco de tiempo durante el cual se dé el efecto de una fase de decisión. Por consiguiente, cada categoría de decisiones debe considerar la incertidumbre más allá del horizonte de decisión.

1. ***Estrategia o diseño de la cadena de suministro.*** Durante esta fase, una compañía decide cómo estructurar la cadena de suministro para los siguientes años. Es decir, decide cuál debe ser la configuración de la cadena de suministro, cómo se asignarán los recursos y qué procesos realizará cada etapa. Las decisiones estratégicas tomadas por las compañías incluyen subcontratar una función de la cadena de suministro o realizarla en casa, la ubicación y capacidades de producción e instalaciones de almacenamiento, los productos que se van a fabricar o almacenar en varios lugares, los modos de transporte que se pondrán a disposición a lo largo de diferentes tramos de embarque, y el tipo de sistema de información que se utilizará. La decisión de PepsiCo Inc. en 2009 de adquirir dos de sus más grandes plantas embotelladoras es un diseño de cadena de suministro o una decisión estratégica. Una empresa debe asegurarse de que la configuración de su cadena de suministro soporta sus objetivos estratégicos e incrementa el superávit de la cadena durante esta fase. Como el CEO de PepsiCo lo anunció en una rueda de prensa el 4 de agosto de ese año: “si bien el

modelo actual ha funcionado muy bien, el negocio de bebidas totalmente integrado nos permitirá llevar al mercado productos y paquetes innovadores, simplificar los sistemas de fabricación y distribución, y reaccionar con mayor rapidez ante los cambios del mercado”. En general, las decisiones de diseño de una cadena de suministro se toman para plazos largos (una cuestión de años) y cuesta mucho dinero modificarlas en el corto plazo. Por consiguiente, cuando las compañías tomen estas decisiones, deben anticiparse a las condiciones inciertas del mercado de los próximos años.

2. ***Planeación de la cadena de suministro.*** Para decisiones tomadas durante esta fase, el marco de tiempo considerado es de un trimestre a un año. Por consiguiente, la configuración de la cadena de suministro determinada en la fase estratégica se mantiene fija. Esta configuración establece restricciones dentro de las cuales debe hacerse la planeación. La meta de la planeación es maximizar el superávit de la cadena de suministro que se puede generar a lo largo del horizonte de planeación dadas las restricciones establecidas durante la fase estratégica o de diseño. Las compañías inician la fase de planeación con un pronóstico para el año venidero (o un marco de tiempo comparable) de demanda y otros factores, como costos y precios en diferentes mercados. La planeación incluye tomar decisiones en relación a qué mercados serán abastecidos desde qué lugares, la subcontratación de la fabricación, las políticas de inventario que se seguirán, y la temporización y tamaño de las promociones de comercialización y precios. Por ejemplo, las decisiones del gigante acerero ArcelorMittal respecto de mercados surtidos por medio de una instalación de producción y de destinar cantidades de producción en cada lugar se clasifican como decisiones de planeación. La planeación establece parámetros dentro de los cuales una cadena de suministro funcionará a lo largo de un tiempo específico. En la fase de planeación las compañías deben incluir en sus decisiones la incertidumbre en la demanda, las tasas de cambio y competencia durante este horizonte de tiempo. Dado un marco de tiempo más corto y mejores pronósticos que en la fase de diseño, las compañías en la fase de planeación tratan de incorporar cualquier flexibilidad a la cadena de suministro en la fase de diseño y explotarla para optimizar su desempeño. Como resultado de la fase de diseño, las compañías definen un conjunto de políticas de operación que rigen las operaciones en el corto plazo.

3. ***Operación de la cadena de suministro.*** El horizonte de tiempo en este caso es semanal o diario. Durante esta fase, las compañías toman decisiones respecto de pedidos de clientes individuales. En el ámbito de operaciones la configuración de la cadena de suministro se considera fija, y las prácticas de planeación ya están definidas. La meta de las operaciones de la cadena de suministro es manejar de la mejor manera posible los pedidos entrantes de clientes. Durante esta fase las empresas asignan inventario o producción a pedidos individuales, fijan la fecha en que el pedido se debe terminar, generan listas de selección en un almacén, asignan un pedido a un modo de embarque particular, establecen programas de entrega de los camiones y colocan pedidos de reabastecimiento. Debido a que las decisiones de operación se toman en el corto plazo (minutos, horas o días), hay menos incertidumbre sobre la información de la demanda. Dadas las restricciones establecidas por la configuración y políticas de planeación, la meta durante la fase de operación es explotar la reducción de la incertidumbre y optimizar el desempeño.

El diseño, planeación y operación de una cadena de suministro tienen un fuerte impacto en la rentabilidad y el éxito totales. Es justo afirmar que una gran parte del éxito de empresas como Walmart y Seven-Eleven Japón puede atribuirse a su diseño, planeación y operación efectivos de la cadena de suministro.

En capítulos posteriores desarrollamos conceptos y presentamos metodologías que pueden usarse en cada una de las tres fases de decisión antes descritas. La mayor parte de nuestra exposición aborda las fases de diseño y planeación de la cadena de suministro.

Punto clave

Las fases de decisión en una cadena de suministro pueden clasificarse como de diseño, de planeación y de operaciones, según el marco de tiempo durante el cual se apliquen las decisiones tomadas. Las decisiones de diseño restringen o habilitan una buena planeación, la que a su vez restringe o habilita una operación eficaz.

1.5 VISUALIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE UNA CADENA DE SUMINISTRO

Una cadena de suministro es una secuencia de procesos y flujos que ocurren dentro y entre diferentes etapas y se combinan para satisfacer la necesidad de un cliente por un producto. Hay dos maneras de ver los procesos realizados en una cadena de suministro.

1. ***Visualización de ciclo.*** Los procesos en una cadena de suministro se dividen en una serie de ciclos, cada uno realizado en la interfaz entre dos etapas sucesivas de una cadena de suministro.
2. ***Visualización de empuje/tirón.*** Los procesos en una cadena de suministro se dividen en dos categorías dependiendo de si se ejecutan en respuesta al pedido de un cliente o con anticipación a éste. Los procesos de *tirón* se inician con el pedido del cliente, en tanto que los de *empuje* se inician y realizan con anticipación a los pedidos del cliente.

Visualización de ciclo de los procesos en una cadena de suministro

Dadas las cinco etapas de una cadena de suministro como se muestra en la figura 1-2, todos los procesos en una cadena de suministro pueden dividirse en los siguientes cuatro ciclos de proceso, como se muestra en la figura 1-3:

- Ciclo de pedido del cliente
- Ciclo de reabastecimiento
- Ciclo de fabricación
- Ciclo de adquisición

Cada ciclo ocurre en la interfaz entre dos etapas sucesivas de la cadena de suministro. No todas las cadenas de suministro muestran una clara separación entre los cuatro ciclos. Por ejemplo, es probable una cadena de suministro de supermercado en la que un detallista almacena inventarios de productos terminados y coloca pedidos de reabastecimiento con un distribuidor, tenga los cuatro ciclos separados. Dell, en contraste, pasa por alto al detallista y al distribuidor cuando le vende directamente a sus clientes.

Cada ciclo consta de seis subprocesos, como se muestra en la figura 1-4. Un ciclo se inicia con el proveedor que comercializa el producto a los clientes. Entonces un comprador coloca un pedido que el

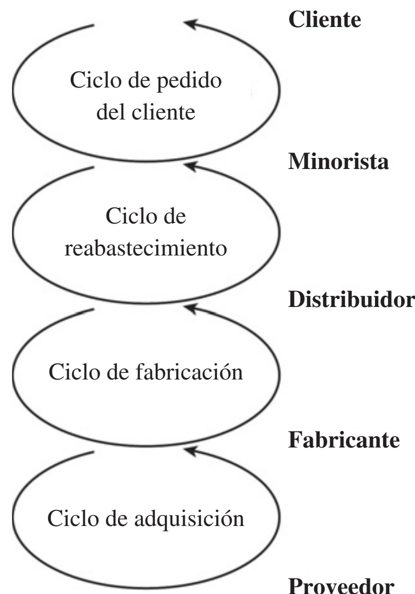


FIGURA 1-3 Ciclos de proceso en una cadena de suministro.

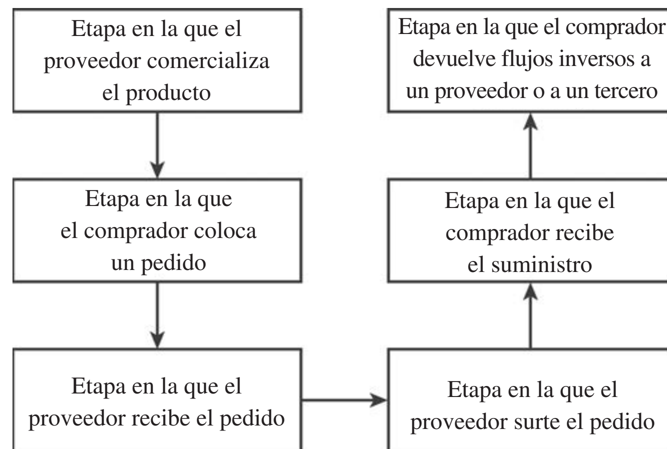


FIGURA 1-4 Subprocesos en cada ciclo de proceso en una cadena de suministro.

proveedor recibe, quien surte el pedido para que el comprador lo reciba y éste a su vez puede devolver una parte del producto, u otro material reciclado, al proveedor o a un tercero. Entonces el ciclo de actividades se inicia de nuevo.

Dependiendo de la transacción en cuestión, los subprocesos de la figura 1-4 pueden aplicarse al ciclo apropiado. Cuando los clientes compran en línea en Amazon, son parte del ciclo de pedido del cliente, donde el cliente es el comprador y Amazon es el proveedor. En contraste, cuando Amazon pide libros a un distribuidor para reabastecer su inventario, es parte del ciclo de reabastecimiento, y entonces Amazon es el comprador y el distribuidor es el proveedor.

Dentro de cada ciclo, el objetivo del comprador es garantizar la disponibilidad del producto y alcanzar economías de escala en los pedidos. El proveedor trata de pronosticar los pedidos del cliente y reducir el costo de recepción del pedido. Entonces el proveedor trabaja para surtir el pedido a tiempo y mejorar la eficiencia y precisión del proceso de surtido de pedidos. Al comprador le corresponde trabajar para reducir el costo del proceso de recepción. Los flujos inversos se manejan para reducir el costo y cumplir con los objetivos ambientales.

Aun cuando cada ciclo consta de los mismos subprocesos básicos, existen algunas diferencias importantes entre ellos. En el ciclo de pedido del cliente, la demanda es externa a la cadena de suministro y, por tanto, incierta. En todos los demás ciclos la colocación de pedidos es incierta pero puede proyectarse con base en las políticas seguidas por la etapa particular de la cadena de suministro. Por ejemplo, en el ciclo de adquisición, un proveedor de llantas de un fabricante automotriz puede predecir la demanda de llantas con precisión una vez que conoce con certeza el programa de producción del fabricante. La segunda diferencia entre los ciclos tiene que ver con la escala de un pedido. Mientras un cliente compra un solo auto, el concesionario pide varios automóviles al fabricante, y éste a su vez pide una cantidad aún mayor de llantas al proveedor. Conforme se pasa del cliente al proveedor, el número de pedidos individuales disminuye y el tamaño de cada pedido se incrementa. Por tanto, el hecho de compartir la información y las políticas de operación a través de las etapas de la cadena de suministro se vuelve más importante a medida que nos alejamos del cliente final.

Una visualización de ciclo de la cadena de suministro es útil cuando se consideran decisiones de operaciones porque especifica con claridad las funciones de cada miembro de la cadena de suministro. La descripción detallada de los procesos de una cadena de suministro en la visualización de ciclo obliga a su diseñador a considerar la infraestructura requerida para soportar estos procesos. La vista de ciclo es útil; por ejemplo, cuando se establecen sistemas de información para apoyar las operaciones de la cadena de suministro.

Punto clave

Una visualización de ciclo de la cadena de suministro define con claridad los procesos implicados y los propietarios de cada proceso. Esta visualización es útil cuando se consideran decisiones de operaciones, porque especifica las funciones y responsabilidades de cada miembro de la cadena de suministro y el resultado deseado de cada proceso.

Visualización de empuje/tirón de los procesos de una cadena de suministro

Todos los procesos en una cadena de suministro encajan en una de dos categorías dependiendo del momento de su ejecución en relación con la demanda del cliente final. Los procesos de tirón inician la ejecución en respuesta a un pedido del cliente, en tanto que los procesos de empuje inician la ejecución con anticipación a los pedidos del cliente basados en un pronóstico. Los procesos de tirón también se conocen como *procesos reactivos* porque responden a la demanda del cliente; a su vez, los procesos de empuje también se conocen como *procesos especulativos* porque responden a una demanda especulada (o pronosticada) en vez de a la real. La frontera *empuje/tirón* en una cadena de suministro separa los procesos de empuje de los de tirón, como se muestra en la figura 1-5. Los procesos de empuje operan en un ambiente de incertidumbre porque aún no se conoce la demanda del cliente. Los procesos de tirón operan en un entorno en el que se conoce la demanda del cliente; sin embargo, suelen estar restringidos por el inventario y las decisiones de capacidad tomadas en la fase de empuje.

Comparemos un ambiente de fabricación para inventario como el de L. L. Bean con uno de fabricación por encargo o sobre pedido, como el de Dell, para comparar la visualización empuje/tirón y la de ciclo.

L. L. Bean ejecuta todos los procesos en el ciclo de pedido del cliente *después* de que llega el pedido. Todos los procesos que forman parte del ciclo de pedido del cliente son, por consiguiente, procesos de tirón. El pedido se surte con productos tomados del inventario que se acumuló con anticipación a los pedidos del cliente. El objetivo del ciclo de reabastecimiento es garantizar la disponibilidad del producto cuando llega el pedido de un cliente. Todos los procesos en el ciclo de reabastecimiento se realizan con anticipación a la demanda y por consiguiente son procesos de empuje. Lo mismo es válido para procesos en los ciclos de fabricación y adquisición. De hecho, la materia primera, por ejemplo la tela, se adquiere con tres a seis meses de antelación a la demanda esperada del cliente. La fabricación se inicia de tres a seis meses antes de la colocación del producto en el punto de venta. Los procesos en la cadena de suministro de L. L. Bean se dividen en procesos de tirón y empuje, como se muestra en la figura 1-6.

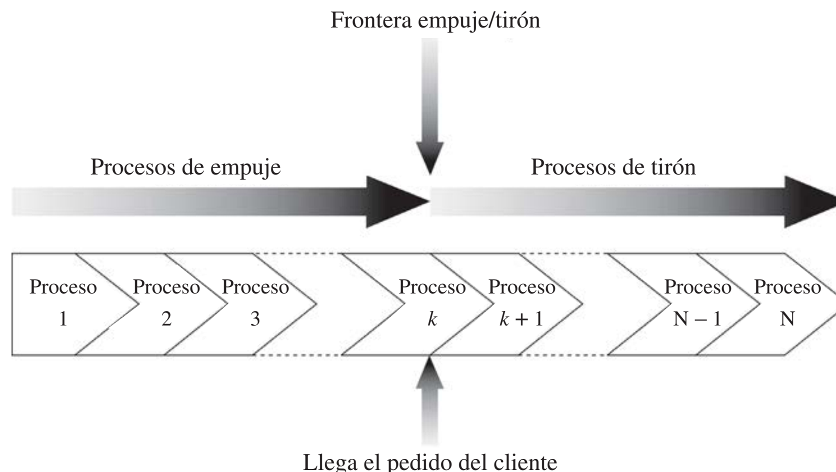


FIGURA 1-5 Visualización de empuje/tirón de la cadena de suministro.

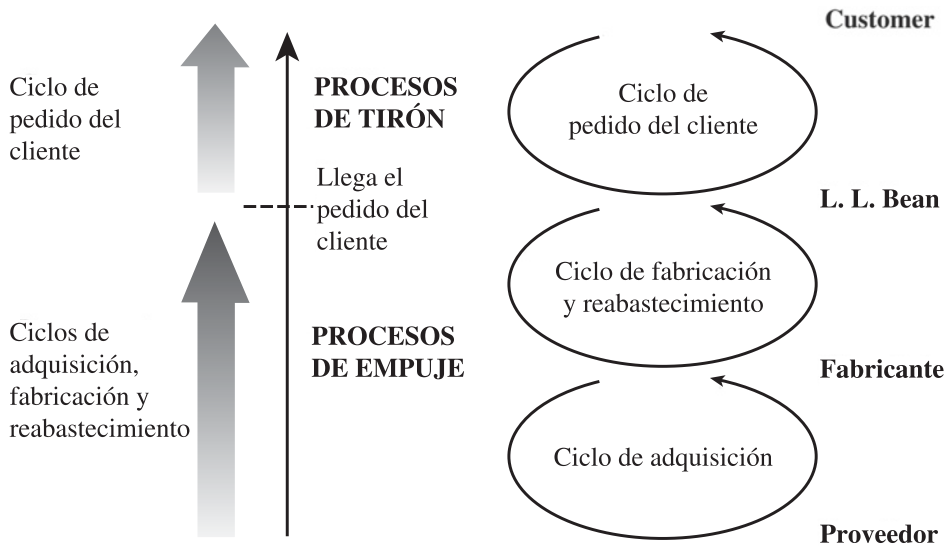


FIGURA 1-6 Procesos de tirón/empuje en la cadena de suministro de L. L. Bean

En el caso de las computadoras personales que se venden a través de Walmart, los ciclos de pedidos de Dell y su frontera empuje/tirón se ven como los de L. L. Bean con Walmart como el detallista en lugar de L. L. Bean, y Dell como el fabricante. La situación es diferente cuado Dell fabrica computadoras personalizadas sobre pedido para sus clientes. En este caso, la llegada del pedido de un cliente activa la producción; por consiguiente, el ciclo de fabricación es parte del proceso de surtido del pedido del cliente en el ciclo de pedido del cliente. En realidad hay sólo dos ciclos en la cadena de suministro de Dell en el caso de computadoras personales: 1.- un ciclo de pedido del cliente y fabricación, y 2.- un ciclo de adquisición, como se muestra en la figura 1-7.

Todos los procesos en el ciclo de pedido del cliente y fabricación en Dell se clasifican, por tanto, como procesos de tirón porque se inician con la llegada del pedido del cliente. Pero Dell no coloca pedidos de componentes en respuesta al pedido de un cliente. El inventario se reabastece con anticipación a la demanda

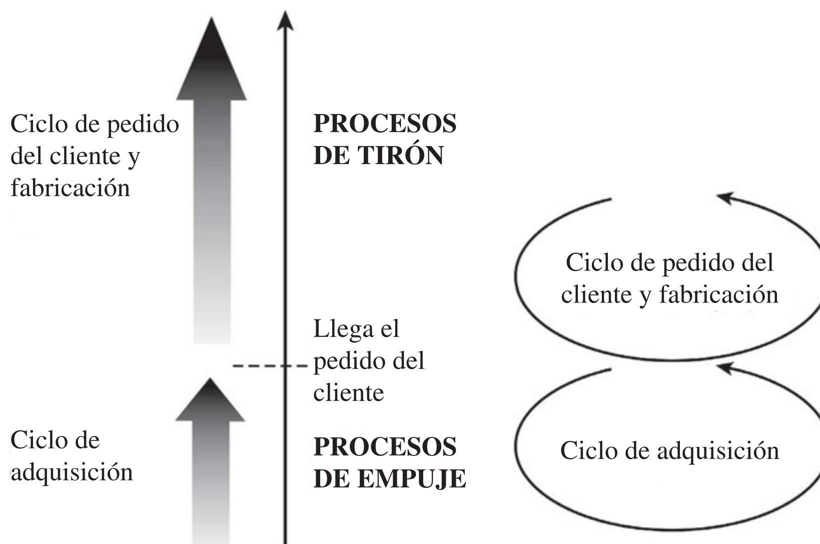


FIGURA 1-7 Procesos de empuje/tirón de la cadena de suministro de Dell para computadoras PC personalizadas.

del cliente. Por consiguiente, todos los procesos del ciclo de adquisición de Dell se clasifican como procesos de empuje, dado que responden a un pronóstico. En el caso de las computadoras fabricadas sobre pedido, los procesos en la cadena de suministro de Dell se dividen en procesos de tirón y empuje, como se muestra en la figura 1-7.

Punto clave

Una visualización de empuje/tirón de la cadena de suministro clasifica los procesos con base en si se inician en respuesta al pedido de un cliente (tirón) o con anticipación al pedido del cliente (empuje). Esta visualización es útil cuando se consideran decisiones estratégicas relacionadas con el diseño de la cadena de suministro.

La visualización de empuje/tirón de la cadena de suministro es muy útil si se han de considerar decisiones estratégicas respecto del diseño de la cadena de suministro. El objetivo es identificar un límite empuje/tirón apropiado de modo que la cadena de suministro pueda igualar con eficacia la oferta y la demanda.

La industria de la pintura es otro excelente ejemplo de las ganancias que se obtienen con el ajuste adecuado de la frontera empuje/tirón. La fabricación de pintura implica la producción de la base, la mezcla de colores adecuados y el envasado. Hasta la década de 1980 todos estos procesos se realizaban en grandes fábricas y se enviaban latas de pintura a las tiendas. Estos procesos se clasificaban como procesos de empuje ya que se realizaban basados en un pronóstico anticipado a la demanda del cliente. Ante la incertidumbre de la demanda, la cadena de suministro de pintura no atinaba a igualar la oferta y la demanda. En la década de 1990 las cadenas de suministro de pintura se reestructuraron de modo que la mezcla de colores se realizaba en tiendas detallistas al momento de que los clientes colocaban sus pedidos. Dicho de otra manera, la mezcla de colores se cambió de la fase de empuje a la fase de tirón de la cadena de suministro, aun cuando la preparación de la base y el llenado de las latas se seguían realizando en la fase de empuje. El resultado es que los clientes siempre son capaces de conseguir el color de su elección, a la vez que los inventarios de pintura totales a través de la cadena de suministro disminuyeron.

Procesos macro de la cadena de suministro de una empresa

Todos los procesos de la cadena de suministro explicados en las dos visualizaciones de proceso y a lo largo de este libro se pueden clasificar como se muestra en la figura 1-8.

1. ***Administración de la relación con el cliente (CRM, Customer Relationship Management):*** todos los procesos enfocados en la interfaz entre la empresa y sus clientes.
2. ***Administración de la cadena de suministro interna (ISCM, Internal Supply Chain Management):*** todos los procesos internos de la empresa.
3. ***Administración de la relación con el proveedor (SRM, Supplier Relationship Management):*** todos los procesos enfocados en la interfaz entre la empresa y sus proveedores.

Proveedor	Empresa	Cliente
SRM	ISCM	CRM
• Fuente • Negociación • Compra • Colaboración en el diseño • Colaboración en el suministro	• Planeación estratégica • Planeación de la demanda • Planeación del suministro • Cumplimiento • Servicio en el campo	• Mercado • Precio • Venta • Centro de llamadas • Administración de pedidos

FIGURA 1-8 Procesos macro de la cadena de suministro.

Punto clave

En una empresa todas las actividades de la cadena de suministro pertenecen a uno de los tres procesos macro: CRM, ISCM y SRM. La integración de los tres procesos macro es crucial para una administración exitosa de la cadena de suministro.

Estos tres procesos macro gestionan el flujo de información, productos y fondos requerido para generar, recibir y satisfacer el pedido de un cliente. El proceso macro CRM pretende generar la demanda del cliente y facilitar la colocación y rastreo de los pedidos. Incluye procesos como comercialización, fijación de precios, ventas, administración de pedido y administración del centro de atención telefónica. En un distribuidor industrial como W. W. Grainger, los procesos CRM incluyen la preparación de catálogos y otros materiales de comercialización, la administración del sitio Web, y la administración del centro de atención telefónica que toma pedidos y proporciona servicios. El proceso macro ISCM pretende satisfacer la demanda generada por el proceso CRM de manera oportuna y al menor costo posible. Los procesos ISCM incluyen la planeación de la producción y la capacidad de almacenamiento internas, la preparación de planes de demanda y oferta, y el surtido de pedidos reales. En W. W. Grainger, los procesos ISCM incluyen planificar la ubicación y dimensiones de los almacenes; decidir qué productos deben almacenarse en cada almacén; preparar políticas de manejo de inventarios, y seleccionar, empacar y enviar los pedidos reales. El proceso macro SRM pretende tomar medidas respecto de las fuentes de abastecimiento y su administración en cuanto a bienes y servicios. Los procesos SRM incluyen la evaluación y selección de proveedores, la negociación de los términos de entrega, y la comunicación en relación con productos nuevos y pedidos a proveedores. En W. W. Grainger los procesos SRM incluyen la selección de proveedores de varios productos, la negociación de precios y términos de entrega con los proveedores, el compartimiento de planes de demanda y oferta con los proveedores, y la colocación de pedidos de reabastecimiento.

Observemos que los tres procesos pretenden servir al mismo cliente. Para que una cadena de suministro sea exitosa, es crucial que los tres procesos macro estén bien integrados. La importancia de esta integración se explica en los capítulos 10 y 17. La estructura organizacional de la empresa influye firmemente en el éxito o fracaso del esfuerzo de integración. En muchas empresas, marketing se encarga de los procesos macro CRM, el área de producción maneja el proceso macro ISCM y el departamento de compras supervisa el proceso macro SRM, todo con escasa comunicación entre ellos. No es raro que la comercialización y la fabricación difieran en sus pronósticos cuando preparan sus planes. Esta falta de integración perjudica la capacidad de la cadena de distribución respecto de igualar la oferta y la demanda con eficacia, lo que conduce a clientes insatisfechos y altos costos. Por consiguiente, las empresas deben estructurar una organización de cadena de suministro que refleje los procesos macro y garantice una buena comunicación y coordinación entre los responsables de los procesos que interactúan entre sí.

1.6 EJEMPLOS DE CADENAS DE SUMINISTRO

En esta sección consideramos varias cadenas de suministro y planteamos preguntas que se deben contestar durante sus fases de diseño, planeación y operación. En capítulos posteriores analizamos conceptos y presentamos metodologías que pueden usarse para contestar dichas preguntas.

Gateway y Apple: dos viajes diferentes hacia las ventas al detalle

Gateway se fundó en 1985 como fabricante de ventas directas de computadoras personales sin presencia en tiendas detallistas. En 1986 era uno de los primeros fabricantes de computadoras personales que comenzó a vender computadoras personales en línea. Después de muchos años de vender sus computadoras personales sin una infraestructura de tiendas al detalle, a finales de la década de 1990 Gateway puso en marcha una estrategia agresiva de apertura de tiendas al detalle por todo Estados Unidos. Sus tiendas no contaban con inventario de productos terminados y se enfocaban principalmente en ayudar a los clientes a seleccionar la configuración correcta de la computadora que deseaban comprar. Todas las computadoras personales se fabricaban sobre pedido y se enviaban al cliente desde una de las plantas de ensamble.

Inicialmente, los inversionistas recompensaron a Gateway por su estrategia y en 1999 elevaron el precio de las acciones a más de $80.00 por acción. Sin embargo, este éxito no fue duradero. En noviembre de 2002 sus acciones habían caído a menos de $4, y Gateway estaba perdiendo mucho dinero. Para abril de 2004 Gateway había cerrado todas sus tiendas y reducido el número de configuraciones ofrecidas a los clientes. En agosto de 2007 Gateway fue adquirida por Acer de Taiwan a un precio de $710 millones. Hacia 2010 las computadoras Gateway se vendían en más de 20 tiendas detallistas diferentes, incluidas Best Buy y Costco. Como puede imaginarse, ésta fue una importante experiencia de transición para la compañía.

En contraste, Apple ha disfrutado un gran éxito desde que abrió su primera tienda al detalle en 2001. Para 2010 Apple tenía más de 300 tiendas por todo el mundo, y las ventas al detalle representaban aproximadamente el 15% de las ventas netas totales de la compañía. A diferencia de Gateway, Apple siempre ha contado con inventario de producto en sus tiendas. Dados sus diseños de producto, Apple cuenta con relativamente poca variedad en sus tiendas. El nivel de ventas de cada una de sus tiendas es relativamente alto, y en 2009 su tienda de la calle Regent en Londres alcanzó ventas de 2,000 libras por pie cuadrado. En el informe anual de 2010, Apple reportó ventas por un total de $10,000 millones, un crecimiento de 47% con respecto al año anterior.

Las siguientes preguntas resaltan las decisiones relacionadas con la cadena de suministro que influyeron en la diferencia entre el desempeño de Apple y Gateway:

1. ¿Por qué Gateway decidió no tener inventario de producto terminado en sus tiendas?
2. ¿Debe una empresa con inversión en tiendas minoristas tener inventario de productos terminados? ¿Cuáles son las características de los productos que deben incluirse en el inventario de productos terminados? ¿Qué caracteriza a los productos que es preferible fabricar sobre pedido?
3. ¿Cómo afecta la variedad del producto al nivel de inventario que debe tener una tienda minorista?
4. ¿Es siempre menos costosa una cadena de suministro de ventas directas sin tiendas minoristas, que una con tiendas minoristas?
5. ¿Qué factores explican el éxito de las tiendas minoristas de Apple y el fracaso de las de Gateway?

Zara: fabricante y detallista de ropa

Zara es una cadena de tiendas de moda propiedad de Inditex, el más grande detallista y fabricante de ropa de España. En 2009 Inditex reportó ventas de aproximadamente 11,000 millones de euros de más de 4,700 tiendas minoristas en aproximadamente 76 países. En una industria en la que la demanda del cliente es caprichosa, Zara ha crecido rápidamente con una estrategia muy sensible a las tendencias cambiantes con precios asequibles. Mientras que tradicionalmente los tiempos de ciclo diseño-ventas en la industria de la ropa tienen un promedio de más de seis meses, Zara ha logrado tiempos de ciclos de cuatro a seis semanas. Esta velocidad permite a Zara introducir nuevos diseños cada semana y cambiar 75% de su mercancía exhibida cada tres o cuatro semanas. Por consiguiente, los productos en exhibición de Zara igualan las preferencias del cliente mucho más fielmente que la competencia. El resultado es que Zara vende la mayor parte de sus productos sin descuento y tiene cerca de la mitad de las rebajas en sus tiendas en comparación con la competencia.

Zara fabrica su ropa con una combinación de fuentes flexibles y rápidas en Europa (la mayoría en Portugal y España) y fuentes de bajo costo en Asia. Esto contrasta con la mayoría de los fabricantes de ropa que han trasladado la mayor parte de su fabricación a Asia. Cerca de 40% de la capacidad de manufactura es propiedad de Inditex, con el resto subcontratado. Los productos con demanda altamente incierta provienen de Europa, en tanto que los productos más predecibles provienen de Asia. Más de 40% de sus compras de productos terminados y la mayor parte de su producción interna ocurren después del inicio de la temporada de ventas. Esto contrasta con un detallista típico que produce menos de 20% después del inicio de la temporada de ventas. Esta capacidad de respuesta y el aplazamiento de las decisiones hasta después de que se conocen las tendencias, permiten a Zara reducir los inventarios y pronosticar errores. Zara también ha realizado fuertes inversiones en tecnología de información para garantizar que los datos de ventas más recientes estén disponibles para impulsar las decisiones de reabastecimiento y producción.

En 2009 Inditex distribuía a tiendas de todo el mundo desde ocho centros de distribución ubicados en España. El grupo reivindicó un tiempo de entrega promedio de 24 horas para sus tiendas europeas y hasta un máximo de 48 horas para sus tiendas en América y Asia, a partir del momento en que se recibía el pedido en el centro de distribución (CD) hasta el momento en que se entregaba en las tiendas. Se hacían varios envíos

a la semana desde los centros de distribución a las tiendas. Esto permitía igualar con mucha exactitud el inventario de la tienda a la demanda de los clientes.

Las siguientes preguntas plantean temas de la cadena de suministro que son primordiales para la estrategia y éxito de Zara:

1. ¿Qué ventaja tiene Zara frente a la competencia por tener una cadena de suministro con mucha capacidad de respuesta?
2. ¿Por qué Inditex decidió tener fabricación tanto interna como externa? ¿Por qué mantuvo su capacidad de fabricación en Europa aun cuando la fabricación en Asia es mucho más barata?
3. ¿Por qué Zara adquiere productos con demanda incierta de fabricantes locales y productos con demanda predecible de fabricantes asiáticos?
4. ¿Qué ventaja obtiene Zara por reabastecer sus tiendas varias veces a la semana en comparación con un reabastecimiento menos frecuente? ¿Cómo afecta la frecuencia de reabastecimiento el diseño de su sistema de distribución?
5. ¿Piensa que la infraestructura de reabastecimiento de respuesta rápida de Zara es más adecuada para ventas en línea o para ventas al menudeo?

W. W. Grainger y McMaster-Carr: proveedores MRO

W. W. Grainger y McMaster venden productos de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO, Maintenance, Repair, and Operations). Ambas compañías tienen catálogos y páginas Web a través de los cuales se pueden hacer pedidos. W. W. Grainger también cuenta con varios cientos de tiendas por todo Estados Unidos. Los clientes pueden entrar a una tienda, hacer un pedido, o colocarlo vía la Web. W. W. Grainger envía los pedidos al cliente o éste puede recogerlos en una de sus tiendas. McMaster, además, envía casi todos sus pedidos (aunque algunos clientes que están cerca de los centros de distribución recogen sus pedidos en ellos). W. W. Grainger cuenta con nueve centros de distribución que reabastecen las tiendas y surten los pedidos de los clientes. McMaster tiene cinco centros de distribución donde se surten todos los pedidos. Ni McMaster ni W. W. Grainger fabrican productos. Se desempeñan primordialmente como distribuidores o detallistas. Su éxito se debe a su capacidad de administración de la cadena de suministro.

Ambas empresas ofrecen varios cientos de miles de productos a sus clientes. Grainger tiene en existencia cerca de 200,000 unidades de referencia de almacén (SKU, *Stock-Keeping Units*), mientras que McMaster almacena cerca de 500,000. Grainger también ofrece muchos otros productos que no están en existencia en almacén pero que obtiene directamente de sus proveedores. Ambas empresas enfrentan los siguientes problemas estratégicos y de operaciones:

1. ¿Cuántos centros de distribución deben construir y dónde se deben ubicar?
2. ¿Cómo deben manejarse las existencias de productos en los centros de distribución? ¿Deben todos los centros de distribución almacenar todos los productos?
3. ¿Qué productos deben incluirse en el inventario y qué productos deben dejarse con el proveedor para que los envíe directamente en respuesta al pedido de un cliente?
4. ¿Qué productos debe tener almacenados W. W. Grainger en una tienda?
5. ¿Cómo deben asignarse los mercados a los centros de distribución en función del surtido de pedidos? ¿Qué se debe hacer si un centro de distribución no puede surtir un pedido en su totalidad? ¿Deben especificarse lugares de respaldo? ¿Cómo deben seleccionarse?
6. ¿Cómo debe manejarse el reabastecimiento del inventario en los diversos sitios de almacenaje?
7. ¿Cómo deben manejarse los pedidos colocados vía la Web con respecto al negocio existente? ¿Es mejor integrar los negocios realizados vía la Web con los negocios existentes, o establecer una distribución aparte?
8. ¿Qué modos de transporte deben usarse para surtir los pedidos y reponer las existencias?

Toyota: un fabricante global de autos

Toyota Motor Corporation es el fabricante de autos líder de Japón y ha experimentado un importante crecimiento en ventas globales a lo largo de las dos últimas décadas. Un problema clave que enfrenta Toyota es el diseño de su red de producción y distribución global. Una parte de la estrategia global de Toyota es abrir

fábricas en cada mercado que atiende. Toyota debe decidir cuál será la capacidad de producción de cada una de las fábricas, ya que ésta tiene un importante efecto en el sistema de distribución deseado. En un extremo, cada planta puede equiparse sólo para producción local; en el otro, cada planta es capaz de abastecer a todos los mercados. Antes de 1996 Toyota utilizaba fábricas locales especializadas para cada mercado. Después de la crisis financiera asiática en 1996/1997, Toyota rediseñó sus plantas de modo que también pudiera exportar a mercados que permanecen fuertes cuando el local se debilita. Toyota llama a esta estrategia "complementación global".

También es tema de debate si las plantas de partes de Toyota y el diseño de productos deban ser locales o globales. ¿Deben construirse las plantas de partes para producción local, o debe haber globalmente algunas que abastezcan a varias plantas de ensamble? Toyota ha trabajado duro para incrementar las partes comunes que se utilizan en todo el mundo. Si bien esto ayudó a la compañía a reducir costos y mejorar la disponibilidad de las partes, las partes comunes provocaron dificultades significativas cuando había que retirar alguna de ellas. En 2009 Toyota tuvo que retirar del mercado cerca de 12 millones de automóviles que utilizaban partes comunes en Norteamérica, Europa y Asia, lo que dañó en gran manera la marca y las finanzas.

Cualquier fabricante global como Toyota debe responder las siguientes preguntas en relación con la configuración y capacidad de la cadena de suministro:

1. ¿Dónde deben ubicarse las plantas y de qué grado de flexibilidad deben constar? ¿Qué capacidad debe tener cada planta?
2. ¿Deben las plantas ser capaces de producir para todos los mercados o sólo para mercados de contingencia específicos?
3. ¿Cómo deben asignarse los mercados a las plantas, y con qué frecuencia debe revisarse esta asignación?
4. ¿Qué clase de flexibilidad debe incorporarse al sistema de distribución?
5. ¿Cómo debe valorarse esta inversión flexible?
6. ¿Qué acciones deben tomarse durante el diseño del producto para facilitar esta flexibilidad?

Amazon: ventas en línea

Amazon vende libros, música y muchos otros artículos por Internet, y es una de las pioneras de ventas en línea; radicada en Seattle, Washington, comenzó surtiendo todos los pedidos con libros comprados a un distribuidor en respuesta a los pedidos de los clientes. A medida que crecía, la compañía agregó almacenes, lo que le permitió reaccionar con mayor rapidez ante los pedidos de los clientes. En 2009 Amazon tenía cerca de 20 almacenes en Estados Unidos y otros 30 en el resto del mundo. Utiliza el servicio postal de Estados Unidos y otras empresas de mensajería como UPS y FedEx para el envío de productos a sus clientes. Los costos relacionados con los envíos salientes en Amazon en 2009 fueron de casi $2,000 millones.

Con el lector de libros electrónicos Kindle, Amazon ha trabajado arduamente para incrementar las ventas de libros digitales. Por esas mismas fechas Amazon ofrecía más de 460,000 libros en formato digital. La compañía también agregó una importante cantidad de contenido de audio y video para su venta en forma digital.

Amazon ha continuado expandiendo la serie de productos que vende en línea. Además de libros y música, Amazon agregó muchas categorías de productos como juguetes, ropa, aparatos electrónicos, joyería y calzado. En ese mismo año una de sus más grandes adquisiciones fue Zappos, una empresa líder en ventas de calzado por Internet. Esta adquisición agregó mucha variedad de productos. De acuerdo con el reporte anual de Amazon, ¡esto requirió crear 121,000 descripciones de producto, y subir más de 2.2 millones de imágenes al sitio Web! En 2010, otra interesante adquisición realizada por Amazon fue diapers.com. A diferencia de Zappos, esta adquisición agregó poca variedad pero considerables volúmenes de embarque.

Surgen varias preguntas con respecto a cómo se estructura Amazon y las categorías de productos que continúa agregando.

1. ¿Por qué conforme Amazon crece construye más almacenes? ¿Cuántos almacenes debe tener y dónde debe ubicarlos?
2. ¿Qué ventajas brinda vender libros por Internet sobre una librería tradicional? ¿Hay algunas desventajas por vender vía Internet?
3. ¿Debe Amazon tener existencias de todos los productos que vende?

4. ¿Qué ventaja pueden obtener las empresas tradicionales que residen en un edificio con el establecimiento de un canal en línea? ¿Cómo deben usarse los dos canales para obtener una ventaja máxima?
5. ¿Qué ventajas y desventajas disfruta el canal en línea en la venta de zapatos y pañales con respecto a una tienda al detalle?
6. ¿Para qué productos el canal en línea ofrece la mayor ventaja con respecto a tiendas minoristas? ¿Qué caracteriza a estos productos?

1.7 RESUMEN

1. ***Conocer el objetivo de una cadena de suministro y explicar el impacto de las decisiones relacionadas con ésta en el éxito de una empresa.*** El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar su superávit total. El superávit de la cadena de suministro es la diferencia entre el valor generado por el cliente y el costo total en que se incurre a lo largo de todas sus etapas. El enfoque en el superávit de la cadena de suministro incrementa el tamaño del pastel para todos los miembros de la cadena de suministro. Las decisiones relacionadas con la cadena de suministro tienen un gran impacto en el éxito o fracaso de cada empresa porque influyen significativamente tanto en los ingresos generados como en el costo en que se ha incurrido. Las cadenas de suministro exitosas manejan flujos de productos, información y fondos para proporcionar un alto nivel de disponibilidad de productos para el cliente, al mismo tiempo que mantienen bajos los costos.

2. ***Identificar las tres fases clave de decisión en una cadena de suministro y explicar la importancia de cada una.*** Las decisiones relacionadas con una cadena de suministro pueden caracterizarse como estratégicas (diseño), de planeación o de operaciones, según el periodo durante el cual se aplican. Las decisiones estratégicas se relacionan con la configuración de la cadena de suministro. Estas decisiones tienen un impacto en el largo plazo y duran varios años. Las decisiones de planeación abarcan un periodo de algunos meses a un año, e incluyen decisiones como planes de producción, subcontratación y promociones durante ese periodo. Las decisiones de operaciones abarcan de minutos a días, e incluyen la secuenciación de la producción y el surtido de pedidos específicos. Las decisiones estratégicas definen las restricciones de las decisiones de planeación, y éstas a su vez definen las restricciones de las decisiones de operaciones.

3. ***Describir las visualizaciones de ciclo y de empuje/tirón de una cadena de suministro.*** Una visualización de ciclo de una cadena de suministro divide los procesos en ciclos, cada uno realizado en la interfaz entre dos etapas sucesivas de una cadena de suministro. Cada ciclo se inicia con un pedido colocado por una etapa de la cadena de suministro y termina cuando se recibe el pedido surtido por la etapa proveedor. Una visualización de empuje/tirón de una cadena de suministro caracteriza los procesos con base en su coordinación en relación con la de los pedidos del cliente. Los procesos de tirón se realizan en respuesta al pedido de un cliente, en tanto que los de empuje se realizan con anticipación a los pedidos del cliente.

4. ***Clasificar los procesos macro de una cadena de suministro en una empresa.*** Todos los procesos de la cadena de suministro pueden clasificarse en tres procesos macro, dependiendo de si ocurren en la interfaz del cliente, del proveedor, o internamente en la empresa. Los procesos macro CRM se componen de todos los procesos que ocurren en la interfaz entre la empresa y el cliente que trabajan para generar, recibir y dar seguimiento a los pedidos del cliente. El proceso macro ISCM se compone de todos los procesos de la cadena de suministro internos a la empresa y que trabajan para planear y surtir los pedidos del cliente. El proceso macro SRM consta de todos los procesos de la cadena de suministro que ocurren en la interfaz entre la empresa y sus proveedores la cual trabaja para evaluar y seleccionar proveedores a los cuales solicitarles luego bienes y servicios.

Preguntas y temas para debates

1. Considere la compra de una lata de bebida refrescante en una tienda de conveniencia. Describa las diferentes etapas en la cadena de suministro y los tipos de flujos implicados.
2. ¿Por qué debe una empresa como Dell tomar en cuenta la rentabilidad total de la cadena de suministro cuando toma decisiones?
3. ¿Cuáles son algunas decisiones estratégicas, de planeación y de operaciones que debe tomar una detallista de ropa como The Gap?
4. Considere la cadena de suministro implicada cuando un cliente adquiere un libro en una librería. Identifique los ciclos en esta

cadena de suministro y la localización de la frontera empuje/tirón.

5. Considere la cadena de suministro implicada cuando un cliente pide un libro a Amazon. Identifique la frontera empuje/tirón y dos procesos en las fases de empuje y tirón.

6. ¿En qué forma los flujos de una cadena de suministro afectan el éxito o el fracaso de una empresa como Amazon? Mencione dos decisiones en relación con la cadena de suministro que tengan un impacto significativo en la rentabilidad de la cadena de suministro.

Bibliografía

Cavinato, Joseph L. (Mayo-junio 2002). "What's Your Supply Chain Type?" *Supply Chain Management Review*, pp. 60–66.

Fisher, Marshall L. (Marzo-abril 1997). "What Is the Right Supply Chain for Your Product?" *Harvard Business Review*, pp. 83–93.

Fuller, Joseph B., James O'Conner, y Richard Rawlinson. (Mayo-junio 1993). "Tailored Logistics: The Next Advantage." *Harvard Business Review*, pp. 87–98.

Kopczak, Laura R., y M. Eric Johnson. (Primavera de 2003). "The Supply Chain Management Effect." *Sloan Management Review*, pp. 27–34.

Lambert, Douglas M. (Septiembre 2004). "The Eight Essential Supply Chain Management Processes." *Supply Chain Management Review*, pp. 18–26.

Lee, Hau L. (Primavera de 2002). "Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties." *California Management Review*, pp. 105–119.

Magretta, Joan. (Septiembre-octubre 1998). "Fast, Global, and Entrepreneurial: Supply Chain Management, Hong Kong Style." *Harvard Business Review*, pp. 102–114.

Magretta, Joan. (Marzo-abril 1998). "The Power of Virtual Integration: An Interview with Dell Computer's Michael Dell." *Harvard Business Review*, pp. 72–84.

O'Marah, Kevin. (Septiembre-octubre 2010). "Winning Tactics: Lessons from the Supply ChainTop 25." *Supply Chain Management Review*, pp. 14–21.

Poirier, Charles C., Francis J. Quinn, y Morgan L. Swink. (2009). *Diagnosing Greatness: Ten Traits of the Best Supply Chains*. Ft. Lauderdale, FL: J. Ross Publishing.

Quinn, Francis J. (Primavera de 1999). "Reengineering the Supply Chain: An Interview with Michael Hammer." *Supply Chain Management Review*, pp. 20–26.

Robeson, James F., y William C. Copacino, eds. (1994). *The Logistics Handbook.* New York: Free Press.

Shapiro, Roy D. (Mayo-junio 1984). "Get Leverage from Logistics." *Harvard Business Review*, pp. 119–127.

Slone, Reuben E. (Octubre 2004). "Leading a Supply Chain Turnaround." *Harvard Business Review*, pp. 114–121.

2

Desempeño de la cadena de suministro: cómo lograr el ajuste y alcance estratégicos

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Explicar por qué el logro del ajuste estratégico es crítico para el éxito total de una compañía.
2. Describir cómo logra una compañía el ajuste estratégico entre la estrategia de su cadena de suministro y su estrategia competitiva.
3. Demostrar la importancia de expandir el alcance del ajuste estratégico a través de la cadena de suministro.
4. Describir los principales retos que deben superarse para administrar exitosamente una cadena de suministro.

En el capítulo 1 analizamos qué es una cadena de suministro y la importancia de su diseño, planeación y operación para el éxito de una empresa. En este capítulo definimos la estrategia de la cadena de suministro y explicamos cómo afecta su desempeño el ajuste estratégico entre la estrategia competitiva de una compañía y la estrategia de su cadena de suministro. También veremos la importancia de expandir el alcance del ajuste estratégico de una operación dentro de una compañía a todas las etapas de la cadena de suministro.

2.1 ESTRATEGIAS COMPETITIVA Y DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La *estrategia competitiva de una compañía* define, con respecto a sus competidores, el conjunto de necesidades del cliente que pretende satisfacer con sus productos y servicios. Por ejemplo, el objetivo de Walmart es ofrecer una alta disponibilidad de varios productos de calidad razonable a precios bajos. La mayoría de los productos que se venden en Walmart son artículos comunes (desde electrodomésticos hasta ropa) y pueden adquirirse en todas partes. Lo que Walmart ofrece es un precio bajo y la disponibilidad de los productos. McMaster-Carr vende productos para mantenimiento, reparación y operaciones (MRO). Ofrece más de 500,000 productos por catálogo y en un sitio Web. Su estrategia competitiva se construye en cuanto a brindar al cliente comodidad, disponibilidad y capacidad de respuesta. Con este enfoque en la capacidad de respuesta, McMaster no compite con base en precios bajos. Es evidente que la estrategia competitiva de Walmart es distinta a la de McMaster.

También podemos comparar a Blue Nile, con su modelo de venta de diamantes al menudeo por Internet, con Zales, que vende joyería de diamantes a través de tiendas minoristas. Blue Nile ha resaltado la variedad de diamantes disponibles en su sitio Web y el hecho de que sus márgenes son significativamente más bajos que sus competidores establecidos. Sin embargo, los clientes tienen que esperar hasta obtener sus joyas sin la oportunidad de tocarlas y verlas antes de comprarlas (Blue Nile ofrece un periodo de devolución de 30 días). En Zales, por el contrario, un cliente puede entrar a la tienda, ser auxiliado por un vendedor y salir de inmediato con un anillo de diamantes, aun cuando la variedad de productos disponibles sea limitada, pues mientras Blue Nile ofrece más de 70,000 piedras en su sitio, una tienda de Zales típica ofrece menos de un millar.

En cada caso la estrategia competitiva se define con base en cómo prioriza el cliente el costo del producto, el tiempo de entrega, la variedad y la calidad. A un cliente de McMaster-Carr le interesa más la variedad de productos y

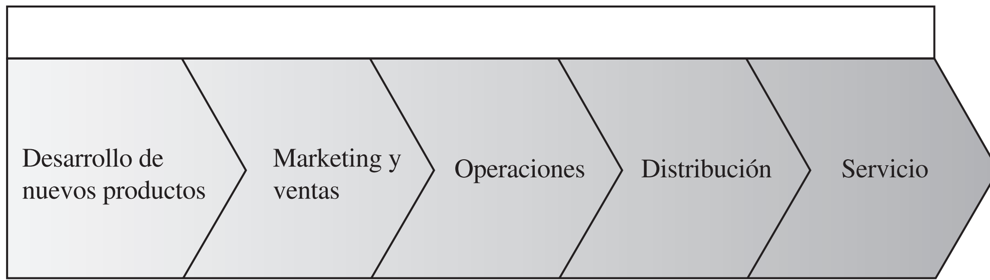


FIGURA 2-1 La cadena de valor en una empresa.

el tiempo de respuesta que el costo, en tanto que el mayor énfasis de un cliente de Walmart está en el costo. Un cliente de Blue Nile (que compra en línea) pone un mayor énfasis en la variedad del producto y el costo, pero un cliente que compra joyería en Zales está más preocupado con el tiempo de respuesta rápida y la ayuda al seleccionar el producto. Por consiguiente, la estrategia competitiva de una empresa se definirá con base en las prioridades de sus clientes. La estrategia competitiva apunta a uno o más segmentos de clientes y a ofrecer productos y servicios que satisfagan las necesidades de estos clientes.

Para ver la relación entre las estrategias competitiva y de la cadena de suministro, comenzamos con la cadena de valor de una organización común, como se muestra en la figura 2-1.

La cadena de valor se inicia con el desarrollo de un nuevo producto, al crear las especificaciones de éste. Marketing y ventas generan la demanda al publicitar las prioridades del cliente que los productos y servicios satisfarán. Marketing también incorpora las propuestas del cliente al desarrollo de un nuevo producto. Con las especificaciones del nuevo producto, el área de operaciones transforma las propuestas en resultados para crear el nuevo producto. Por su parte, el área de distribución lleva el producto al cliente o lleva al cliente al producto. Servicio responde a las peticiones del cliente durante o después de la venta. Estos son procesos o funciones fundamentales que deben realizarse para una venta exitosa. Finanzas, contabilidad, tecnología de la información y recursos humanos, apoyan y facilitan el funcionamiento de la cadena de valor.

Para poner en práctica la estrategia competitiva de una compañía, todas estas funciones desempeñan un papel, y cada una debe desarrollar su propia estrategia. En este caso, *estrategia* se refiere a qué es lo que cada proceso o función tratará de hacer bien en particular.

La estrategia de *desarrollo de un producto* especifica la cartera de productos nuevos que una compañía tratará de desarrollar. También dicta si el esfuerzo de desarrollo se hará dentro o fuera de la empresa. Una estrategia de *comercialización y ventas* especifica cómo se segmentará el mercado y cómo se posicionará, valorará y promocionará el producto. Una *estrategia de cadena de suministro* determina la naturaleza de la adquisición de materia prima, el transporte de materiales hasta y desde la compañía, la fabricación u operación del producto para proporcionar el servicio y la distribución del producto al cliente, junto con cualquier seguimiento y una especificación de si estos procesos se realizarán dentro o fuera de la empresa. La estrategia de la cadena de suministro especifica lo que las operaciones, distribución y funciones de servicio, sea que se realicen interna o externamente, deben hacer particularmente bien. Como nos enfocamos en la estrategia de la cadena de suministro, la definimos con más detalle. La estrategia de la cadena de suministro incluye una especificación de la amplia estructura de la cadena de suministro y en lo que muchos tradicionalmente llaman “estrategia de proveedor”, “estrategia de operaciones”, o “estrategia de logística”. Por ejemplo, la decisión inicial de Dell de vender directamente, su decisión en 2007 de comenzar a vender computadoras personales a través de revendedores, y la decisión de Cisco de utilizar fabricantes contratados, definen la amplia estructura de sus cadenas de suministro, y todas son parte de sus estrategias de cadena de suministro. La estrategia de cadena de suministro también incluye decisiones de diseño basadas en el inventario, transporte, instalaciones de operación y flujos de información. Por ejemplo, las decisiones de Amazon de construir almacenes para tener existencias de algunos productos y de continuar utilizando distribuidores como fuente de otros productos, son parte de la estrategia de su cadena de suministro. Asimismo, la decisión de Toyota de tener instalaciones de producción en cada uno de sus mercados principales es parte de la estrategia de su cadena de suministro.

Para que una empresa tenga éxito, todas las estrategias funcionales deben apoyarse entre sí y apoyar a la estrategia competitiva. Por ejemplo, el éxito de Seven-Eleven Japón puede atribuirse al excelente ajuste

entre sus estrategias funcionales. La operación de marketing en Seven-Eleven recalcó la conveniencia del acceso fácil a las tiendas y la disponibilidad de una amplia gama de productos y servicios. El desarrollo de productos nuevos en Seven-Eleven está agregando constantemente productos y servicios, como el pago de facturas, que atraen a los clientes y explotan la excelente infraestructura de información, además del hecho de que los clientes visiten con frecuencia Seven-Eleven. Las áreas de operaciones y distribución se han enfocado en tener una alta densidad de tiendas, en responder con rapidez, y en brindar una excelente infraestructura de información. El resultado es un ciclo virtuoso en el que se aprovecha la infraestructura de la cadena de suministro para ofrecer nuevos productos y servicios que incrementan la demanda, y a su vez la demanda incrementada facilita las operaciones para mejorar la densidad de tiendas, su capacidad de respuesta ante el reabastecimiento, y la infraestructura de información.

En la siguiente sección explicamos más detalladamente la noción de ajuste y tratamos de responder esta pregunta: Dada su estrategia competitiva, ¿qué debe tratar de hacer particularmente bien la cadena de suministro de una compañía?

2.2 CÓMO LOGRAR EL AJUSTE ESTRATÉGICO

El *ajuste estratégico* requiere que tanto la estrategia competitiva como la de la cadena de suministro de una compañía tengan metas alineadas. Ello se refiere a la consistencia entre las prioridades del cliente que la estrategia competitiva espera satisfacer y las capacidades de la cadena de suministro que la estrategia de ésta pretende construir. Para que una compañía logre el ajuste estratégico debe obtener lo siguiente:

1. La estrategia competitiva y todas las estrategias funcionales deben ajustarse entre sí para formar una estrategia total coordinada. Cada estrategia funcional debe apoyar a otras estrategias funcionales y ayudar a que cada compañía alcance su meta de estrategia competitiva.
2. Las diferentes funciones en una compañía deben estructurar apropiadamente sus procesos y recursos para que sean capaces de ejecutar estas estrategias con éxito.
3. El diseño de toda la cadena de suministro y el rol de cada etapa deben alinearse para apoyar la estrategia de la cadena.

Una compañía puede fracasar por la falta de ajuste estratégico o porque los recursos, procesos y diseño de toda la cadena de suministro no apoyan el ajuste estratégico deseado. Consideremos, por ejemplo, una situación en la que el área de marketing está publicitando la capacidad de una compañía de brindar una gran variedad de productos con rapidez, y al mismo tiempo el área de distribución está buscando el medio de transporte de menor costo. En esta situación es probable que el área de distribución demore los pedidos al economizar en el transporte agrupando pedidos o utilizando medios de transporte baratos pero lentos. Esta acción entra en conflicto con la meta establecida por marketing de brindar variedad con rapidez. Asimismo, consideremos un escenario en el que un detallista ha decidido ofrecer una amplia variedad de productos con bajos niveles de inventario, pero que ha seleccionado proveedores y transportistas basado en precios bajos y no en su capacidad de respuesta. En este caso es probable que el detallista termine con clientes insatisfechos debido a la deficiente disponibilidad del producto.

Para explicar con mayor detalle el ajuste estratégico, consideremos la evolución de Dell y su cadena de suministro. Entre 1993 y 2006 la estrategia competitiva de Dell fue ofrecer una gran variedad de productos personalizados a un precio razonable. Dado el enfoque en la personalización, la cadena de suministro de Dell se diseñó con una gran capacidad de respuesta. Las instalaciones de ensamble de Dell se diseñaron para que fueran flexibles y así manejar con facilidad la amplia variedad de configuraciones solicitadas por los clientes. Una planta enfocada en costos bajos y eficiencia y que produjera grandes volúmenes de la misma configuración no habría sido apropiada en este escenario.

La noción de ajuste estratégico también se extendió a otras funciones en Dell. Las computadoras personales de Dell se diseñaban para utilizar componentes comunes y permitir un ensamble rápido. Evidentemente, esta estrategia de diseño se alineaba muy bien con la meta de la cadena de suministro de ensamblar PCs personalizadas en respuesta a los pedidos de los clientes. Dell trabajó duro para llevar está alineación a sus proveedores. Dado que Dell construía productos personalizados con un bajo nivel de inventario, era importantísimo que los proveedores y transportistas tuvieran alta capacidad de respuesta. Por ejemplo, la habilidad de los transportistas de combinar una PC de Dell con un monitor de Sony permitió a Dell no incluir monitores Sony en el inventario.

Sin embargo, a partir de 2007 Dell modificó su estrategia competitiva y de cadena de suministro. Si bien continuó ofreciendo personalización, la compañía también comenzó a vender computadoras a través de tiendas como Walmart. Pero el surtido para ventas al menudeo es muy diferente del enfoque en la personalización en el canal de ventas directas. A través de Walmart, Dell ofrece una variedad limitada de computadoras de escritorio y portátiles. También es esencial que los monitores y otros periféricos estén disponibles en el inventario, porque un cliente que compra una PC en Walmart no esperará a que después le entreguen el monitor. Es evidente que la cadena de suministro flexible y con capacidad de respuesta que se alinea bien con las necesidades de personalización del cliente no necesariamente se alinea bien cuando los clientes ya no desean personalización sino más bien precios bajos. Esto plantea la pregunta de cómo debe ajustar Dell las diferentes estrategias funcionales dado el cambio de estrategia competitiva para mantener el ajuste estratégico. Una de las respuestas iniciales de Dell ha sido no construir todo sobre pedido, e incrementar su confianza en contratar para el ensamble a fabricantes que radican en países de costos bajos.

¿Cómo se logra el ajuste estratégico?

¿Qué necesita hacer una compañía para lograr el importante ajuste estratégico entre la estrategia de la cadena de suministro y la estrategia competitiva? Una estrategia competitiva especificará, explícita o implícitamente, uno o más segmentos de clientes que una compañía espera satisfacer. Para lograr el ajuste estratégico, una compañía debe garantizar que las capacidades de su cadena de suministro apoyen su capacidad para satisfacer las necesidades de los segmentos de clientes que desea captar.

Existen tres pasos básicos para lograr este ajuste estratégico, los cuales resumimos aquí y que posteriormente analizaremos con más detalle:

1. ***Entender al cliente y la incertidumbre de la cadena de suministro.*** En primer lugar, una compañía debe entender las necesidades del cliente de cada segmento que desea captar y la incertidumbre que estas necesidades imponen en la cadena de suministro, las cuales ayudan a la compañía a definir el costo y requerimientos de servicio deseados. La incertidumbre de la cadena de suministro ayuda a la compañía a identificar el grado de imprevisibilidad de la demanda, el trastorno y el retraso para los que la cadena debe estar preparada.
2. ***Entender las capacidades de la cadena de suministro.*** Cada uno de los muchos tipos de cadenas de suministro está diseñado para realizar bien diferentes tareas. Una compañía debe saber para qué está diseñada su cadena de suministro.
3. ***Lograr el ajuste estratégico.*** Si hay discordancia entre lo que la cadena de suministro hace perfectamente bien y las necesidades deseadas del cliente, la compañía tendrá que reestructurar la cadena de suministro para apoyar la estrategia competitiva, o bien modificar su estrategia competitiva.

PASO 1: ENTENDER AL CLIENTE Y LA INCERTIDUMBRE DE LA CADENA DE SUMINISTRO Para entender al cliente una compañía debe identificar las necesidades del segmento de clientes que está atendiendo. Comparemos a Seven-Eleven Japón con una tienda de descuento como Sam's Club (una parte de Walmart). Cuando los clientes van a Seven-Eleven a comprar detergente, lo hacen por la comodidad de una tienda cercana y no necesariamente porque buscan el precio más bajo. En contraste, el precio bajo es muy importante para un cliente de Sam's Club. Este cliente puede estar dispuesto a tolerar menos variedad e incluso comprar grandes paquetes en tanto el precio sea bajo. Aun cuando los clientes compran detergente en ambos lugares, la demanda varía a lo largo de ciertos atributos. En el caso de Seven-Eleven, los clientes llevan prisa y quieren comodidad. En el caso de Sam's Club desean un precio bajo y están dispuestos a consumir tiempo para conseguirlo. En general, la demanda de los clientes de diferentes segmentos varía a lo largo de varios atributos como sigue:

- ***La cantidad del producto requerido en cada lote.*** Es probable que un pedido de urgencia de material necesario para reparar una línea de producción sea pequeño. Pero quizás un pedido de material para construir una nueva línea de producción sea grande.
- ***El tiempo de respuesta que los clientes pueden tolerar.*** Es probable que el tiempo de respuesta tolerable del pedido urgente sea corto, en tanto que el tiempo de respuesta del pedido de construcción puede ser largo.

- ***La variedad del producto requerido.*** Un cliente puede valorar mucho la disponibilidad de todas las partes de un pedido de reparación de urgencia solicitado a un solo proveedor. Quizás éste no sea el caso del pedido de construcción.
- ***El nivel de servicio requerido.*** Un cliente que coloca un pedido urgente espera un alto nivel de disponibilidad del producto. Si todas las partes no están disponibles de inmediato, tal vez vaya a otra parte. Quizás éste no sea el caso del pedido de construcción, para el que probablemente el tiempo de espera sea largo.
- ***El precio del producto.*** Es posible que el cliente que coloca un pedido urgente sea mucho más sensible al precio que el cliente que coloca el pedido de construcción.
- ***La tasa de innovación deseada en el producto.*** Los clientes en una tienda departamental de renombre esperan un alto grado de innovación y nuevos diseños en la ropa. Los clientes de Walmart suelen ser menos sensibles a la innovación en los productos.

Cada cliente en un segmento particular tenderá a tener necesidades similares, en tanto que los clientes en un segmento diferente suelen tener necesidades muy diferentes.

Aunque hemos descrito muchos atributos a lo largo de los cuales varía la demanda de los clientes, nuestro objetivo es identificar una medida clave para combinar todos estos atributos. Entonces esta medida única sirve para identificar lo que una cadena de suministro debe hacer particularmente bien.

Incertidumbre implícita de la demanda. A primera vista puede parecer que cada una de las categorías de necesidad del cliente debe considerarse de manera diferente pero, en un sentido fundamental, cada una de las necesidades del cliente puede transformarse en una medida de *incertidumbre implícita de la demanda*, la cual es la incertidumbre de la demanda impuesta a la cadena de suministro debido a las necesidades que el cliente busca satisfacer.

Hacemos una distinción entre incertidumbre de la demanda e incertidumbre implícita de la demanda. La *incertidumbre de la demanda* refleja la incertidumbre de la demanda del cliente de un producto. La *incertidumbre implícita de la demanda*, por el contrario, es la incertidumbre resultante de sólo la parte de la demanda que la cadena de suministro planea satisfacer basada en los atributos de los deseos del cliente. Por ejemplo, una empresa que surte sólo pedidos urgentes de un producto enfrentará una mayor incertidumbre implícita de demanda que una que surte el mismo producto con un largo tiempo de espera, ya que la segunda empresa tiene la oportunidad de surtir los pedidos de manera uniforme a lo largo del tiempo de entrega.

Otra ilustración de la necesidad de esta distinción es el impacto del nivel de servicio. Conforme una cadena eleva su nivel de servicio, debe ser capaz de satisfacer un porcentaje cada vez mayor de la demanda, lo que la obliga a estar preparada para atender incrementos repentinos esporádicos de la demanda. Por tanto, la elevación del nivel de servicio incrementa la incertidumbre implícita de la demanda aun cuando la incertidumbre de la demanda subyacente del producto no cambie.

Tanto la incertidumbre de la demanda del producto como las diversas necesidades que la cadena de suministro trata de satisfacer afectan la incertidumbre implícita de la demanda. La tabla 2-1 ilustra la forma en que las diversas necesidades del cliente afectan la incertidumbre implícita de la demanda.

Tabla 2-1 Impacto de las necesidades del cliente en la incertidumbre implícita de la demanda

El cliente requiere	Lo que hace que la incertidumbre implícita de la demanda se…
Que se incremente el rango de la cantidad requerida	Incremente porque un amplio rango de la cantidad requerida implica una mayor varianza en la demanda
Que se reduzca el tiempo de entrega	Incremente porque se dispone de menos tiempo para reaccionar ante los pedidos
Que se incremente la variedad de los productos requeridos	Incremente porque la demanda por producto se disgrega
Que se incremente el número de canales a través de los cuales se puede adquirir el producto	Incremente porque la demanda total del cliente ahora está más disgregada en más canales
Que se incremente la tasa de innovación	Incremente porque los productos nuevos tienden a una demanda más incierta
Que se incremente el nivel de servicio requerido	Incremente porque ahora la empresa tiene que manejar aumentos repentinos inusuales de la demanda

Tabla 2-2 Correlación entre la incertidumbre implícita de la demanda y otros atributos

	Incertidumbre implícita baja	Incertidumbre implícita alta
Margen del producto	Bajo	Alto
Error promedio en el pronóstico	10%	40% a 100%
Tasa promedio de desabasto	1% a 2%	10% a 40%
Rebajas promedio forzadas de fin de temporada	0%	10% a 25%

Fuente: Adaptado de Marshall L. Fisher. (Marzo-abril 1997). What Is the Right Supply Chain for Your Product? *Harvard Business Review*, pp. 83-93.

Ya que la necesidad de cada cliente contribuye a la incertidumbre implícita de la demanda, podemos utilizar dicha incertidumbre como una medida común para distinguir los diferentes tipos de demanda.

Fisher (1997) señaló que a menudo la incertidumbre implícita de la demanda se correlaciona con otras características de la demanda, como se muestra en la tabla 2-2. He aquí la explicación:

1. Los productos con demanda incierta suelen ser menos maduros y tener menos competencia directa. En consecuencia, los márgenes tienden a ser altos.
2. El pronóstico es más preciso cuando la demanda es menos incierta.
3. La incertidumbre implícita de la demanda incrementada lleva a la dificultad incrementada de igualar la oferta a la demanda. Esta dinámica puede provocar una situación de desabasto o de sobreoferta para un producto dado. Por consiguiente, la incertidumbre implícita de la demanda incrementada provoca tanto una mayor sobreoferta como una mayor tasa de desabasto.
4. Las rebajas son altas en productos con una mayor incertidumbre implícita de la demanda porque a menudo conducen a una sobreoferta.

En primer lugar, consideremos el ejemplo de un producto con baja incertidumbre implícita de demanda, por ejemplo la sal de mesa. La sal tiene un margen bajo, pronósticos precisos de demanda, bajas tasas de desabasto, y prácticamente ninguna rebaja. Estas características concuerdan bien con las que aparecen en la tabla de Fisher de productos con alta certidumbre en la demanda.

En el otro extremo del espectro, un nuevo teléfono celular tiene una alta incertidumbre implícita de demanda. Probablemente tendrá un margen alto, pronósticos de demanda imprecisos, altas tasas de desabasto (si tiene éxito), y grandes rebajas (si fracasa). Esto también concuerda con la tabla 2-2.

Lee (2002) señaló que junto con la incertidumbre de la demanda, es importante considerar la incertidumbre que resulta de la capacidad de la cadena de suministro. Por ejemplo, cuando se introduce un nuevo componente en la industria de las computadoras personales, los rendimientos de calidad del proceso de producción tienden a ser bajos y las rebajas son frecuentes. En consecuencia, las compañías tienen dificultad para entregar de acuerdo con un programa bien definido, y el resultado es una alta incertidumbre en la oferta para los fabricantes de computadoras personales. Conforme la tecnología de la producción madura y los rendimientos mejoran, las compañías son capaces de seguir un programa de entregas fijo, lo que propicia una baja incertidumbre de la oferta. La tabla 2-3 ilustra cómo las diversas características de las fuentes de suministro afectan la incertidumbre de la oferta.

Tabla 2-3 Impacto de la capacidad de la fuente de suministro en la incertidumbre de la oferta

Capacidad de la fuente de suministro	Hace que la incertidumbre de la oferta se…
Descomposturas frecuentes	Incremente
Rendimientos impredecibles y bajos	Incremente
Calidad deficiente	Incremente
Capacidad de suministro limitada	Incremente
Capacidad de suministro inflexible	Incremente
Proceso de producción en evolución	Incremente

Fuente: Adaptado de Hau L. Lee. (Primavera de 2002). Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *California Management Review*, pp. 105-119.

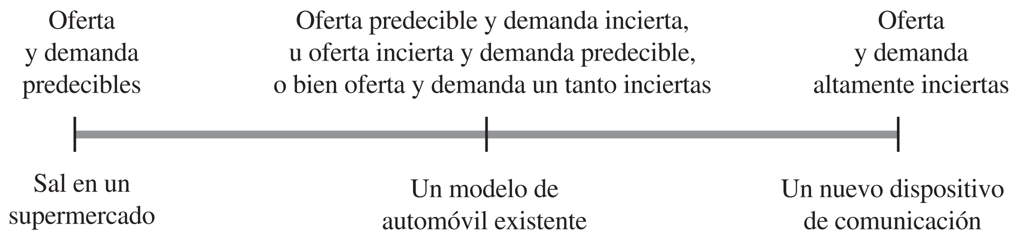


FIGURA 2-2 Espectro de incertidumbre implícita (demanda y oferta).

La incertidumbre de la oferta también se ve fuertemente afectada por la posición del ciclo de vida del producto. Los productos nuevos tienen una mayor incertidumbre de la oferta porque los diseños y procesos de producción aún están evolucionando. En contraste, los productos maduros tienen menos incertidumbre de la demanda.

Podemos crear un espectro de incertidumbre combinando la incertidumbre de la demanda y la oferta. Este espectro de incertidumbre implícita se muestra en la figura 2-2.

Una compañía que introduce una nueva marca de teléfono celular basado enteramente en componentes y tecnología nuevos enfrenta una alta incertidumbre implícita de la demanda y una alta incertidumbre de la oferta. Por consiguiente, la incertidumbre implícita enfrentada por la cadena de suministro es extremadamente alta. Por el contrario, un supermercado que vende sal enfrenta una baja incertidumbre implícita de la demanda y bajos niveles de incertidumbre de la oferta, lo que da por resultado una baja incertidumbre implícita. Muchos productos agrícolas, como el café, son ejemplos de cadenas de suministro que enfrentan bajos niveles de incertidumbre implícita de la demanda pero una significativa incertidumbre en el abasto debido al clima. La cadena de suministro tiene pues que enfrentar un nivel intermedio de incertidumbre implícita.

Punto clave

El primer paso para lograr el ajuste estratégico entre la estrategia competitiva y la de la cadena de suministro es entender a los clientes y la incertidumbre de la cadena de suministro. La incertidumbre proveniente del cliente y la cadena de suministro pueden combinarse y situarse en el espectro de incertidumbre implícita.

PASO 2: ENTENDER LAS CAPACIDADES DE LA CADENA DE SUMINISTRO Después de entender la incertidumbre que enfrenta la compañía, la siguiente pregunta es: ¿cómo satisface mejor la empresa la demanda en ese ambiente de incertidumbre? La creación del ajuste estratégico es todo lo que se requiere para crear una estrategia de cadena de suministro que satisfaga mejor la demanda que una compañía ha proyectado dada la incertidumbre que enfrenta.

A continuación, consideramos las características de cadenas de suministro y las clasificamos de acuerdo con las diferentes características que influyen en capacidad de respuesta y eficiencia.

En primer lugar damos algunas definiciones. La *capacidad de respuesta de la cadena de suministro* incluye su capacidad de hacer lo siguiente:

- Responder a amplios rangos de cantidades demandadas
- Satisfacer tiempos cortos de entrega
- Manejar gran variedad de productos
- Fabricar productos altamente innovadores
- Satisfacer un alto nivel de servicio
- Manejar la incertidumbre de la oferta

Estas capacidades son similares a muchas de las características de la demanda y oferta que condujeron a una alta incertidumbre implícita. Cuantas más habilidades de éstas tenga una cadena de suministro, mayor será su capacidad de respuesta.

La capacidad de respuesta, sin embargo, implica un costo. Por ejemplo, para que responda a un rango más amplio de cantidades demandadas, la capacidad debe incrementarse, lo que eleva los costos. Este incremento del costo conduce a la segunda definición. La *eficiencia de la cadena de suministro* es la inversa del costo de producir y entregar un producto al cliente. Los incrementos de los costos reducen la eficiencia. Por cada opción estratégica seleccionada para incrementar la capacidad de respuesta hay costos adicionales que reducen la eficiencia.

La *frontera eficiente de costo-capacidad de respuesta* es la curva que aparece en la figura 2-3, la cual muestra el más bajo costo posible con un nivel dado de capacidad de respuesta. El costo más bajo se define con base en la tecnología existente; no todas las empresas son capaces de operar en la frontera eficiente, que representa el desempeño de costo-capacidad de respuesta de las mejores cadenas de suministro. Una empresa que no se encuentra en la frontera eficiente puede mejorar tanto su capacidad de respuesta como sus costos si se mueve hacia la frontera eficiente. Por el contrario, una empresa que se encuentra en la frontera eficiente puede mejorar su capacidad de respuesta sólo incrementando sus costos y haciéndose menos eficiente. Tal empresa debe hacer un compromiso entre eficiencia y capacidad de respuesta. Desde luego, las empresas que se encuentran en la frontera eficiente también mejoran continuamente sus procesos y cambian de tecnología para desplazar la frontera eficiente. Dado el compromiso entre costo y capacidad de respuesta, una opción estratégica clave para cualquier cadena de suministro es el nivel de respuesta que desea ofrecer.

Las cadenas de suministro van desde las que se enfocan en su sola capacidad de respuesta hasta las que se enfocan en producir y surtir al más bajo costo posible. La figura 2-4 muestra el espectro de capacidad de respuesta y el lugar que algunas cadenas de suministro ocupan en este espectro.

Cuantas más capacidades constitutivas de la capacidad de respuesta tenga una cadena de suministro, mayor será su capacidad de respuesta. Seven-Eleven Japón responde con rapidez a los pedidos, ya que los gerentes de tienda colocan pedidos de reabastecimiento menos de 12 horas antes de que se surtan. Esta práctica hace que la cadena de suministro de Seven-Eleven tenga una gran capacidad de respuesta. Otro ejemplo de una cadena de suministro con gran capacidad de respuesta es W. W. Grainger. La compañía enfrenta tanto incertidumbre de demanda como de oferta; por consiguiente, la cadena de suministro se diseñó para manejar con eficacia ambas incertidumbres para ofrecer a sus clientes una amplia variedad de productos MRO en 24 horas. Por el contrario, una cadena de suministro eficiente reduce el costo al eliminar algunas de sus capacidades de respuesta. Por ejemplo, Sam's Club vende una variedad limitada de productos en grandes paquetes. La cadena de suministro es capaz de reducir los costos, y su objetivo es, evidentemente, la eficiencia.

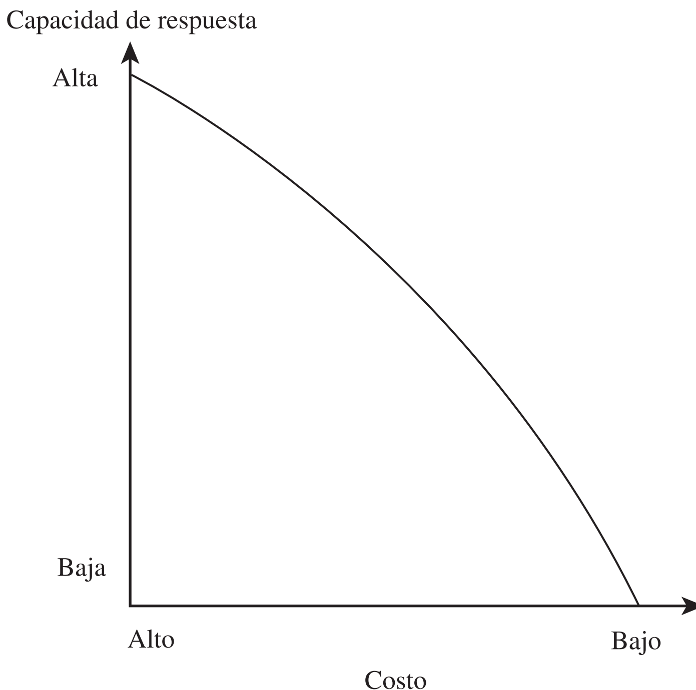


FIGURA 2-3 Frontera eficiente de costo-capacidad de respuesta.

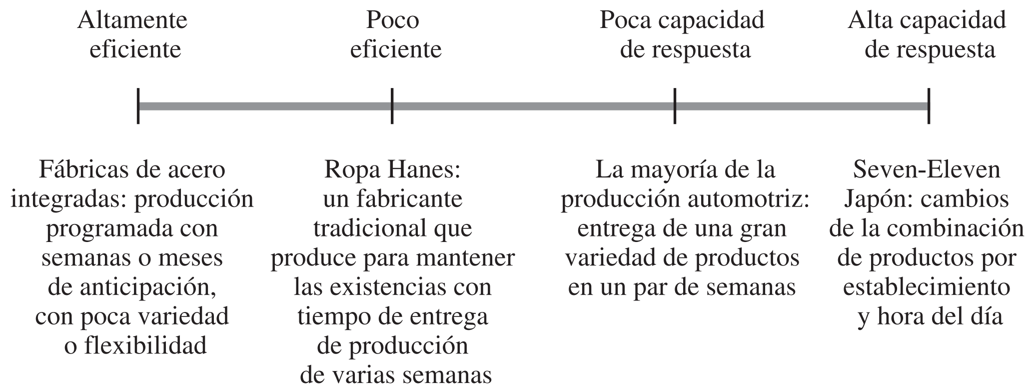


FIGURA 2-4 Espectro de capacidad de respuesta.

> **Punto clave**
>
> El segundo paso para lograr el ajuste estratégico entre las estrategias competitiva y la de la cadena de suministro es entender la cadena de suministro y situarla en el espectro de capacidad de respuesta.

PASO 3: LOGRAR EL AJUSTE ESTRATÉGICO Después de trazar el nivel de incertidumbre implícita y entender la posición de la cadena de suministro en el espectro de capacidad de respuesta, el tercero y último paso es asegurarse de que el grado de capacidad de respuesta de la cadena de suministro sea consistente con la incertidumbre implícita. El objetivo es buscar una alta capacidad de respuesta para una cadena de suministro que enfrenta una alta incertidumbre implícita, y una alta eficiencia para una cadena de suministro que enfrenta una baja incertidumbre implícita.

Por ejemplo, la estrategia competitiva de McMaster-Carr se enfoca en clientes que valoran la gran variedad de productos MRO y que se les entreguen en 24 horas. Dada la gran variedad de productos y la rápida entrega deseada, la demanda de los clientes de McMaster-Carr se puede caracterizar como de alta incertidumbre implícita de la demanda. McMaster-Carr tiene la opción de diseñar una cadena de suministro eficiente y con alta capacidad de respuesta. Una cadena de suministro eficiente puede tener menos inventario y mantener un nivel de carga en el almacén para reducir los costos de selección y empaque. Si McMaster-Carr se decidiera por estas opciones, le sería difícil satisfacer el deseo de los clientes de una amplia variedad de productos que se les entregarían en 24 horas. Para servir a sus clientes con eficacia, McMaster-Carr tiene un alto nivel de inventario y capacidad de selección y empaque. Es evidente que una cadena con alta capacidad de respuesta es más adecuada para satisfacer las necesidades de los clientes de McMaster-Carr, incluso si esto le lleva a un incremento en sus costos.

Ahora consideremos un fabricante de pasta como Barilla. La pasta es un producto con demanda del cliente relativamente estable, por lo que su incertidumbre implícita de demanda es baja e incluso la oferta es bastante predecible. Barilla podría diseñar una cadena de suministro con una alta capacidad de respuesta en la que la pasta se fabricara sobre pedido en pequeños lotes en respuesta a los pedidos de los clientes y se enviara a través de un modo de transporte rápido como FedEx. Obviamente, esta opción haría que la pasta fuera prohibitivamente cara y perdería clientes. Por tanto, Barilla está en una posición mucho mejor si diseña una cadena de suministro más eficiente que se enfoque en la reducción de costos.

Del análisis precedente se desprende que una mayor incertidumbre implícita de los clientes y de las fuentes de suministro se atiende mejor aumentando la capacidad de respuesta de la cadena de suministro. Esta relación se representa con la “zona de ajuste estratégico” que se ilustra en la figura 2-5. Para alcanzar un alto nivel de desempeño, las compañías deben mover su estrategia competitiva (y la incertidumbre implícita resultante) y la estrategia de la cadena de suministro (así como la capacidad de respuesta resultante) hacia la zona de ajuste estratégico.

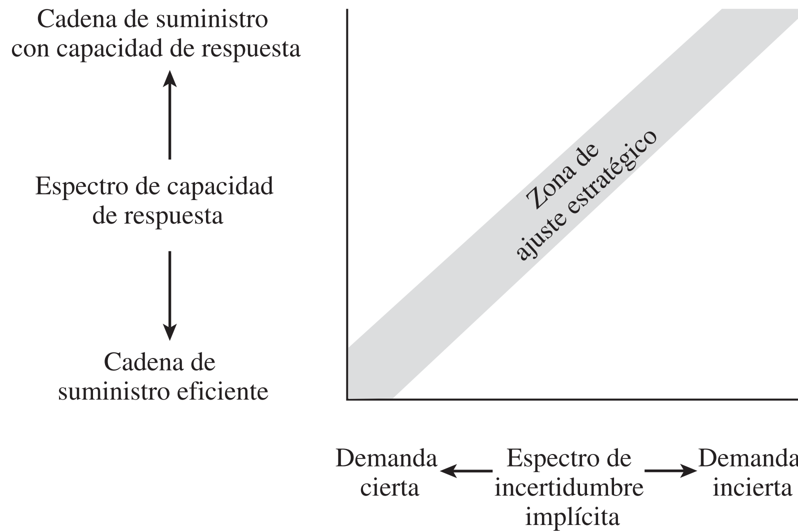


FIGURA 2-5 Localización de la zona de ajuste estratégico.

El siguiente paso para lograr el ajuste estratégico es asignar roles a las diferentes etapas de la cadena de suministro que garanticen el nivel apropiado de capacidad de respuesta. Es importante entender que el nivel deseado de capacidad de respuesta y eficiencia requerido a lo largo de la cadena se suministro puede lograrse asignando diferentes niveles de capacidad de respuesta y eficiencia a cada etapa de la cadena de suministro, como se ilustra con los siguientes ejemplos.

IKEA es un detallista mueblero sueco con grandes tiendas en más de 20 países, y que se ha enfocado en clientes que desean muebles elegantes a un costo razonable. La compañía limita la variedad de estilos que vende mediante un diseño modular. La gran escala de cada tienda y la variedad limitada de los muebles (por el diseño modular) reduce la incertidumbre enfrentada por la cadena de suministro. IKEA mantiene existencias de todos los estilos en inventario para atender a los clientes, de modo que utiliza el inventario para absorber toda la incertidumbre enfrentada por la cadena de suministro. La presencia de inventario en las grandes tiendas IKEA permite que los pedidos de reabastecimiento que hace a sus fabricantes sean más estables y predecibles. Como resultado, IKEA transfiere poca incertidumbre a sus fabricantes, que tienden a establecerse en países de costos bajos y a enfocarse en la eficiencia. IKEA proporciona capacidad de respuesta en la cadena de suministro, con lo que las tiendas absorben la mayor parte de la incertidumbre por su capacidad de respuesta, y los proveedores absorben poca incertidumbre por ser eficientes.

En contraste, otro enfoque para lograr capacidad de respuesta es que el detallista mantenga poco inventario. En este caso el detallista no contribuye significativamente a la capacidad de respuesta de la cadena de suministro, y la mayor parte de la incertidumbre implícita de la demanda se transfiere al fabricante. Para que la cadena de suministro tenga capacidad de respuesta, el fabricante ahora debe ser flexible y tener tiempos de respuesta cortos. Un ejemplo de este enfoque es England, Inc., un fabricante de muebles de Tennessee. Cada semana, la compañía fabrica varios miles de sofás y sillas sobre pedido y los entrega en tres semanas a mueblerías de todo el país. Sus detallistas permiten que los clientes seleccionen de entre una gran variedad de estilos y les prometen una entrega relativamente rápida. Esto impone un alto nivel de incertidumbre implícita en la cadena de suministro, ya que los detallistas no mantienen mucho inventario y traspasan la mayor parte de la incertidumbre implícita a England, Inc. De esta manera, los detallistas pueden ser eficientes porque England, Inc., con su proceso flexible de fabricación, absorbe la mayor parte de la incertidumbre implícita de la cadena de suministro. England, Inc. decide qué tanta incertidumbre transfiere a sus proveedores; al mantener más inventarios de materia prima la compañía permite que sus proveedores se enfoquen en la eficiencia, de modo que si sus inventarios se reducen, sus proveedores deben volverse más sensibles a la respuesta.

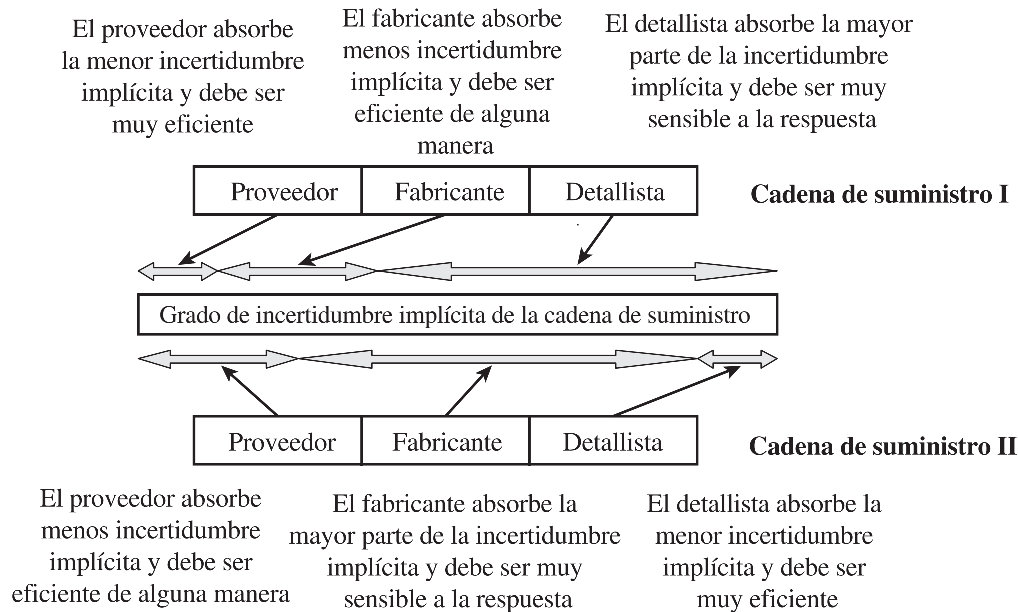


FIGURA 2-6 Diferentes roles y asignaciones de incertidumbre implícita con un nivel dado de capacidad de respuesta de la cadena de suministro.

El planteamiento anterior ilustra que la cadena de suministro puede lograr un nivel dado de capacidad de respuesta con un ajuste a los roles de cada una de sus etapas. Al hacer que una etapa tenga más capacidad de respuesta permite que las demás se vuelvan más eficientes. La mejor combinación de roles depende de la eficiencia y flexibilidad disponibles en cada etapa. En la figura 2-6 se ilustra la noción de lograr un nivel dado de capacidad de respuesta con la asignación de diferentes roles y niveles de incertidumbre a las diferentes etapas de la cadena de suministro. La figura muestra dos cadenas de suministro que afrontan la misma incertidumbre implícita pero que logran el nivel deseado de capacidad de respuesta con diferentes asignaciones de incertidumbre y capacidad de respuesta a lo largo de la cadena de suministro. La cadena de suministro I cuenta con un detallista con mucha capacidad de respuesta, quien absorbe la mayor parte de la incertidumbre y permite (y en realidad requiere) que el fabricante y el proveedor sean eficientes. Por el contrario, la cadena de suministro II cuenta con un fabricante con mucha capacidad de respuesta, quien absorbe la mayor parte de la incertidumbre y permite así que las demás etapas se enfoquen en la eficiencia.

Para lograr el ajuste estratégico completo, una empresa también debe asegurarse de que todas sus funciones mantengan estrategias consistentes que apoyen la estrategia competitiva. Todas las estrategias funcionales deben apoyar los objetivos de la estrategia competitiva. Todas las subestrategias en la cadena de suministro, como fabricación, inventario y compras, también deben ser consistentes con su nivel de capacidad de respuesta. La tabla 2-4 incluye algunas de las diferencias importantes de estrategia funcional entre cadenas de suministro que son eficientes y las que cuentan con gran capacidad de respuesta.

Adaptación de la cadena de suministro para lograr el ajuste estratégico

Punto clave

El paso final para lograr el ajuste estratégico es igualar la capacidad de respuesta de la cadena de suministro con la incertidumbre implícita de la demanda. El diseño de la cadena de suministro y todas las estrategias funcionales de la empresa también deben apoyar su nivel de capacidad de respuesta.

Tabla 2-4 Comparación de cadenas de suministro eficientes y con capacidad de respuesta

	Cadenas de suministro eficientes	Cadenas de suministro con capacidad de respuesta
Objetivo principal	Surtir la demanda al más bajo costo	Responder con rapidez a la demanda
Estrategia de diseño del producto	Maximizar el desempeño a un costo mínimo del producto	Crear *modularidad* para permitir el aplazamiento de la diferenciación de los productos
Estrategia de fijación de precios	Reducir los márgenes porque el precio es la motivación principal del cliente	Elevar los márgenes porque el precio no es la motivación principal de los clientes
Estrategia de fabricación	Reducir los costos mediante una alta utilización	Mantener la flexibilidad de la capacidad para compensar la incertidumbre de la demanda/oferta
Estrategia de inventario	Minimizar el inventario para reducir el costo	Mantener un *inventario de reserva* para manejar la incertidumbre de la demanda/oferta
Estrategia de tiempo de espera	Reducir, pero no a expensas de los costos	Reducir de manera drástica, incluso si los costos son significativos
Estrategia del proveedor	Seleccionar con base en costo y calidad	Seleccionar con base en velocidad, flexibilidad, confiabilidad y calidad

Fuente: Adaptado de Marshall L. Fisher. (Marzo-abril 1997). What is the Right Chain for your Product? *Harvard Business Review*, pp. 83-93.

El planteamiento anterior se enfocó en el logro del ajuste estratégico cuando una empresa atiende a un solo segmento del mercado, y el resultado es una posición estratégica bien definida y limitada. Mientras que tal escenario es válido para empresas como IKEA, se requiere que muchas empresas logren el ajuste estratégico mientras atienden muchos segmentos de clientes con una variedad de productos a través de múltiples canales. En tal escenario, una cadena de suministro "unitalla" no puede proporcionar el ajuste estratégico, y se requiere una estrategia de cadena de suministro adaptada. Por ejemplo, cuando todos sus clientes valoraban que se les entregaran sus computadoras personales en días, Dell construyó una cadena de suministro con capacidad de respuesta que se alineaba bien con su posición estratégica. Cuando Dell agregó el canal de Walmart, cuyos clientes valoraban el precio bajo, la capacidad de respuesta de su cadena de suministro ya no se alineó con este nuevo canal. Dell tuvo que diseñar una cadena de suministro más eficiente adaptada para atender el canal de costo bajo contratando fabricantes establecidos en países de costos bajos. Otro ejemplo es Levi Strauss, que vende *jeans* tanto de talla personalizada como de talla estándar. La demanda de *jeans* de talla estándar tiene una incertidumbre de demanda mucho menor que la demanda de *jeans* personalizados. Como resultado, Levi Strauss debe adaptar su cadena de suministro para satisfacer ambas necesidades.

En cada uno de los ejemplos anteriores, los productos vendidos y los segmentos de clientes atendidos tienen diferentes incertidumbres implícitas de la demanda. En estos casos, cuando se concibe la estrategia de cadena de suministro el tema clave para una compañía es diseñar una cadena de suministro adaptada, capaz de ser eficiente cuando la incertidumbre implícita es baja y con alta capacidad de respuesta cuando es alta. Si adapta su cadena de suministro, una compañía puede responder con rapidez ante productos, segmentos de clientes y canales de rápido crecimiento, al tiempo que mantiene un bajo costo para productos y segmentos de cliente maduros estables.

La adaptación de la cadena de suministro requiere compartir algunos eslabones de la cadena de suministro con algunos productos, y tener operaciones distintas para otros eslabones. Los eslabones se comparten para lograr la eficiencia máxima posible, en tanto se proporciona el nivel apropiado de capacidad de respuesta a cada segmento. Por ejemplo, todos los productos pueden fabricarse en la misma línea en una planta, y los que requieren un alto nivel de capacidad de respuesta pueden enviarse utilizando un modo de transporte rápido como FedEx. Aquellos productos que no requieren una alta capacidad de respuesta pueden enviarse por medios de transporte más lentos y menos caros como camiones, ferrocarril o incluso barcos. En otros casos, los productos que requieren una alta capacidad de respuesta pueden fabricarse mediante un proceso flexible, en tanto que los productos que requieren menos capacidad de respuesta pueden fabricarse mediante un proceso con menos capacidad de respuesta pero más eficiente. Sin embargo, el modo de transporte que se utilice en ambos casos puede ser el mismo. Algunos productos, inclusive, pueden mantenerse en almacenes regionales cercanos a los clientes, mientras que otros pueden guardarse en almacenes centralizados

lejos de los clientes. W. W. Grainger conserva los artículos de rápido movimiento con baja incertidumbre implícita en sus almacenes descentralizados cercanos a los clientes y mantiene los artículos de movimiento lento con alta incertidumbre implícita de la demanda en un almacén centralizado. La adaptación apropiada de la cadena de suministro ayuda a una empresa a lograr niveles variables de capacidad de respuesta a un costo total bajo. El nivel de capacidad de respuesta se adapta a cada producto, canal o segmento de clientes. La adaptación de la cadena de suministro es un concepto importante que desarrollamos más adelante en capítulos subsiguientes.

El concepto de adaptación para lograr el ajuste estratégico es importante en industrias de alta tecnología y farmacéuticas donde la innovación es crítica y los productos se mueven a través de un ciclo de vida. Consideremos los cambios de las características de la demanda y oferta durante el ciclo de vida de un producto. En las etapas iniciales del ciclo de vida de un producto:

1. La demanda es muy incierta, y la oferta suele ser impredecible.
2. Los márgenes a menudo son altos, y el tiempo es crucial para realizar ventas.
3. La disponibilidad del producto es crucial para capturar el mercado.
4. A veces el costo es una consideración secundaria.

Consideremos una empresa farmacéutica que introduce un nuevo medicamento. La demanda inicial del medicamento es altamente incierta, los márgenes en general son altos y la disponibilidad del producto es la clave para capturar un segmento del mercado. La fase introductoria del ciclo de vida de un producto corresponde a una alta incertidumbre implícita dada la alta incertidumbre de la demanda y la necesidad de un alto nivel de disponibilidad del producto. En tal situación la capacidad de respuesta es la característica más importante de la cadena de suministro.

A medida que el producto llega a ser un producto de consumo más adelante en su ciclo de vida, las características de la demanda y la oferta cambian. En esta etapa, el caso típico es que:

1. La demanda llega a ser más cierta, y la oferta es más predecible.
2. Los márgenes son más bajos como resultado de un incremento de la presión competitiva.
3. El precio llega ser un factor significativo para el cliente.

En el caso de la compañía farmacéutica estos cambios ocurren cuando la demanda del medicamento se estabiliza, las tecnologías de producción están bien desarrolladas y la oferta es predecible. Esta etapa corresponde a un bajo nivel de incertidumbre implícita. Por consiguiente, la cadena de suministro debe cambiar. En tal situación la eficiencia llega a ser la característica más importante de la cadena de suministro. La industria farmacéutica ha reaccionado con la construcción de una capacidad flexible y eficiente cuyo uso se adapta al ciclo de vida del producto. En general, los productos nuevos se introducen utilizando una capacidad más cara pero con la respuesta suficiente para manejar el alto nivel de incertidumbre durante las primeras etapas del ciclo de vida. Los productos maduros con alta demanda se asignan a la capacidad dedicada que es altamente eficiente porque maneja bajos niveles de incertidumbre y disfruta la ventaja de alta escala. La estrategia de capacidad adaptada ha permitido a las empresas farmacéuticas mantener el ajuste estratégico para una amplia variedad de productos en diferentes etapas de su ciclo de vida.

En la siguiente sección describimos cómo se expande el alcance de la cadena de suministro cuando se logra el ajuste estratégico. También explicamos por qué el alcance del ajuste estratégico es crítico para el éxito de la cadena de suministro.

Punto clave

Cuando se atienden múltiples segmentos de clientes con una amplia variedad de productos a través de varios canales, una empresa debe adaptar su cadena de suministro para lograr el ajuste estratégico.

2.3 EXPANSIÓN DEL ALCANCE ESTRATÉGICO

Un tema clave en relación con el ajuste estratégico es el alcance, en términos de las etapas de la cadena de suministro, a lo largo de las cuales se aplica el ajuste estratégico. El *alcance del ajuste estratégico* se refiere a las funciones dentro de la empresa y las etapas a lo largo de la cadena de suministro que conciben una estrategia integrada con un objetivo común. En un extremo, cada operación en cada área funcional concibe su propia estrategia independiente con el objetivo de optimizar su desempeño individual. En este caso el alcance del ajuste estratégico se limita a una operación en un área funcional en una etapa de la cadena de suministro. En el extremo opuesto, todas las áreas funcionales a través de todas las etapas de la cadena de suministro conciben estrategias alineadas que maximizan el superávit de la cadena de suministro. En este caso el alcance del ajuste estratégico se extiende a toda la cadena de suministro.

En esta sección analizamos cómo la expansión del alcance del ajuste estratégico mejora el desempeño de la cadena de suministro. Por ejemplo, IKEA ha logrado un gran éxito con la expansión del alcance de su ajuste estratégico para incluir todas las funciones y etapas en la cadena de suministro. Su estrategia competitiva es ofrecer una variedad razonable de muebles y accesorios para el hogar a precios bajos. Sus tiendas son grandes y mantienen todos los productos en el inventario. Sus productos se diseñan para que sean modulares y fáciles de ensamblar. Las grandes tiendas y el diseño modular permiten a IKEA trasladar el ensamble y entrega finales (dos operaciones costosas) al cliente. Como resultado, todas las funciones de la cadena de suministro de IKEA se enfocan en la eficiencia. Sus proveedores se concentran en producir grandes volúmenes de algunos módulos a bajo costo. Su función de transporte se enfoca en enviar a bajo costo a las grandes tiendas fuertes cantidades de módulos de alta densidad sin ensamblar. La estrategia en cada etapa y función de la cadena de suministro de IKEA está enfocada en hacer creer el superávit de la cadena de suministro.

Alcance intraoperaciones: la vista de minimizar el costo local

El *alcance intraoperaciones* hace que cada etapa de la cadena de suministro conciba su estrategia de forma independiente. Por lo común, en tal escenario el conjunto de estrategias resultante no se alinea y entran en conflicto. Este alcance limitado fue la práctica dominante durante las décadas de 1950 y 1960, cuando cada operación en cada etapa de la cadena de suministro intentaba minimizar sus propios costos. Como resultado de este alcance limitado, quizá la función de transporte en muchas empresas haya enviado camiones totalmente cargados sin considerar el impacto resultante en los inventarios o la capacidad de respuesta. Históricamente, este alcance localizado hizo que las funciones de ventas en muchas empresas de productos de consumo ofrecieran promociones comerciales para incrementar los ingresos sin considerar el impacto de estas promociones en los costos de producción, manejo del almacén y transporte. La carencia resultante de alineación redujo el superávit de la cadena se suministro.

Alcance intrafuncional: la vista de minimizar el costo funcional

Con el tiempo, los gerentes reconocieron la debilidad del alcance interoperaciones e intentaron alinear todas las operaciones dentro de una función. Por ejemplo, el uso de flete aéreo podría justificarse sólo si los ahorros resultantes en los inventarios y la capacidad de respuesta mejorada justificaban el costo de transporte incrementado. Con la *vista intrafuncional*, las empresas intentaron alinear todas las operaciones dentro de una función. Todas las funciones de una cadena de suministro, incluidas las de aprovisionamiento, fabricación, manejo de almacén y transporte, tuvieron que alinear su estrategia para minimizar el costo funcional total. Por consiguiente, el producto se podía obtener con proveedores locales a un alto costo porque la reducción resultante de los costos de inventario y transporte compensaba el alto costo unitario.

Alcance interfuncional: la vista de maximizar la utilidad de la compañía

La debilidad clave de la vista intrafuncional es que las diferentes funciones dentro de una empresa pueden tener objetivos conflictivos. Al paso del tiempo las compañías se dieron cuenta de esta debilidad cuando vieron, por ejemplo, que las funciones de marketing y ventas se enfocaban en generar ingresos, y que las funciones de fabricación y distribución se enfocaban en reducir los costos. A menudo las acciones de las dos funciones tomadas entraban en conflicto y perjudicaban el desempeño total de la empresa. Las compañías se percataron de la importancia de extender el alcance del ajuste estratégico y alinear la estrategia a través de todas las funciones dentro de la empresa. Con el alcance interfuncional, el objetivo es maximizar las utilida-

des de la compañía. Para lograrlo, todas las estrategias funcionales se desarrollan para que se alineen entre sí y con la estrategia competitiva.

El objetivo de alinear estrategias a través de las funciones hizo que las operaciones de almacén en McMaster-Carr mantuvieran un inventario alto y capacidad excedente para garantizar que siempre se cumpliera la promesa del área de marketing de entregar al día siguiente. Las utilidades de la compañía se incrementaron debido a que el incremento en el margen que los clientes estaban dispuestos a pagar por la alta confiabilidad más que compensó el aumento en los gastos de manejo del inventario y almacén. La compañía disfruta altas utilidades porque todas las funciones alinean su estrategia en torno al objetivo común de la comodidad del cliente de poder entregarle al día siguiente una amplia variedad de productos MRO.

Alcance intercompañía: la vista de maximizar el superávit de la cadena de suministro

En ocasiones el objetivo de sólo maximizar las utilidades de la compañía provoca conflictos entre las etapas de la cadena de suministro. Por ejemplo, tanto el proveedor como el fabricante de una cadena de suministro quizá prefieran que el otro lado mantenga la mayor parte del inventario, a fin de mejorar sus propias utilidades. Si las dos partes no pueden ver más allá de sus propias utilidades, simplemente la parte más poderosa obligará a la otra etapa a mantener los inventarios sin considerar dónde se mantienen mejor. El resultado es una reducción en el superávit de la cadena de suministro: todo el pastel que ambas partes pueden compartir.

El alcance intercompañía propone un enfoque diferente. En lugar de hacer que la parte más débil mantenga el inventario, las dos partes deben trabajar juntas para reducir la cantidad requerida de inventario. Al trabajar juntas y compartir la información, pueden reducir los inventarios y el costo total y, por consiguiente, el superávit de la cadena de suministro se incrementa. Cuanto más alto sea el superávit de la cadena de suministro, más competitiva será la cadena de suministro.

Punto clave

Actualmente el alcance intercompañía del ajuste estratégico es esencial porque el campo de juego competitivo ha cambiado de ser de compañía contra compañía a cadena de suministro contra cadena de suministro. Los socios de la cadena de suministro de una compañía pueden determinar el éxito de ésta, ya que la compañía está íntimamente ligada a su cadena de suministro.

Un buen ejemplo del enfoque intercompañía es la forma en que Walmart y P&G planean conjuntamente las promociones. Las dos compañías disponen de un equipo (con empleados de ambas partes) que trabaja para garantizar que la promoción sea oportuna y se lleve a cabo para beneficiar a ambos lados. Antes de este esfuerzo de colaboración, a veces las promociones en Walmart requerían que P&G trabajara tiempo extra a un alto costo. El resultado fue la reducción del superávit de la cadena de suministro porque el producto se vendía con descuento cuando se producía a un costo marginal alto. Ahora los equipos de colaboración tratan de incrementar el superávit de la cadena de suministro, programando la promoción para tener un alto impacto de ventas al mismo tiempo que se minimiza el incremento del costo marginal. Trabajan para garantizar que el producto se produzca de tal modo que toda la demanda de la promoción se satisfaga sin que se generen inventarios de excedentes no vendidos.

Alcance intercompañía ágil

Hasta este punto hemos analizado el ajuste estratégico en un contexto estático; es decir, las necesidades de los actores de una cadena de suministro y los clientes no cambian con el tiempo. En realidad, la situación es mucho más dinámica. Los ciclos de vida de los productos se están acortando y las compañías deben satisfacer las necesidades cambiantes de los clientes. Una empresa puede estar en sociedad con muchas empresas, según los productos que fabrica y los clientes que atiende. La estrategia y operaciones en las empresas deben ser lo bastante ágiles para mantener el ajuste estratégico en un entorno cambiante.

El *alcance intercompañía ágil* se refiere a la habilidad de una empresa para lograr el ajuste estratégico cuando la sociedad con las etapas de la cadena de suministro cambia con el tiempo. Las empresas deben pensar en función de cadenas de suministro compuestas de muchos actores en cada etapa. Por ejemplo, un

fabricante puede interactuar con diferentes proveedores y distribuidores dependiendo del producto que se está produciendo y el cliente que se está atendiendo. Además, a medida que las necesidades de los clientes varían con el tiempo, las empresas deben tener la habilidad de volverse parte de una nueva cadena de suministro al mismo tiempo que garantizan el ajuste estratégico. Este nivel de agilidad llega a ser más importante a medida que el entorno competitivo se vuelve más dinámico.

Punto clave

El alcance intercompañía del ajuste estratégico requiere que las empresas evalúen cada acción en el contexto de toda la cadena de suministro. Este alcance extendido incrementa el tamaño del superávit para que sea compartido entre todas las etapas de la cadena de suministro.

2.4 RETOS PARA LOGRAR Y MANTENER EL AJUSTE ESTRATÉGICO

La clave para lograr el ajuste estratégico es la habilidad de una compañía de determinar el balance entre la capacidad de respuesta y la eficiencia que concuerde mejor con las necesidades de sus clientes. Al decidir la localización de este balance en el espectro de capacidad de respuesta las compañías afrontan muchos retos. Por un lado, estos retos han hecho que sea mucho más difícil que las compañías creen el balance ideal; por el otro, han brindado a las compañías más oportunidades de mejorar la administración de la cadena de suministro. Los gerentes necesitan entender de manera concreta el efecto de estos retos porque son críticos para la habilidad de una empresa de hacer crecer el superávit de su cadena de suministro.

Incremento de la variedad de productos y reducción de los ciclos de vida

Uno de los más grandes retos para mantener el ajuste estratégico es el incremento de la variedad de productos y la reducción de los ciclos de vida de muchos productos. La mayor variedad de productos y ciclos de vida más cortos incrementan la incertidumbre, al mismo tiempo que reducen la ventana de oportunidades en la cual la cadena de suministro puede lograr el ajuste. El reto se magnifica cuando las compañías continúan incrementando los nuevos productos y no eliminan los viejos. Apple ha tenido un gran éxito al limitar su variedad de producto al tiempo que sigue introduciendo nuevos productos, lo cual le ha permitido a la compañía el lujo de manejar sólo productos de alta demanda para los cuales es más fácil diseñar una cadena alineada. En general, sin embargo, las empresas deben alinear sus plataformas de productos con componentes comunes y mantener una cadena de suministro adaptada que contenga una solución sensible a responder para manejar productos nuevos y otros productos de bajo volumen y una solución de bajo costo para manejar con éxito productos de alto volumen. Al mismo tiempo, la variedad debe limitarse a lo que verdaderamente agrega valor al cliente. Esto a menudo requiere la eliminación continua de productos viejos.

Globalización e incremento de la incertidumbre

La globalización ha incrementado tanto las oportunidades como los riesgos para las cadenas de suministro. El siglo XXI se ha iniciado con fluctuaciones significativas en las tasas de cambio, la demanda global y el precio del petróleo crudo, factores todos que afectan el desempeño de la cadena de suministro. En 2008 el euro alcanzó su valor máximo de cerca de $1.59 dólares y luego bajó a $1.25, cuando en 2001 había estado a $0.85. Después de que la demanda de automóviles en Estados Unidos alcanzó su valor máximo de más de 17 millones de vehículos, se redujo significativamente entre noviembre de 2007 y octubre de 2008, mes en que las ventas de automóviles se redujeron en más de 30% con respecto al mismo mes del año anterior. La caída de las ventas de vehículos grandes fue más significativa que la de automóviles más pequeños y más eficientes en cuanto a consumo de combustible. El petróleo crudo alcanzó un precio máximo de $145 por barril en julio de 2008, y bajó a menos de $50 en noviembre.

Las cadenas de suministro diseñadas para manejar estas incertidumbres se han desempeñado mucho mejor que aquellas que las ignoraron. Por ejemplo, Honda construyó plantas flexibles que fueron de gran ayuda en 2008 cuando la demanda de vehículos SUV (*Sport Utility Vehicle*) se redujo pero la de autos pequeños se incrementó. Las plantas flexibles de Honda que fabricaban tanto vehículos CRV (*Compact Recreation Vehicle*) como autos pequeños en la misma línea continuaron realizando operaciones fuertes. Por el

contrario, las compañías que habían construido plantas dedicadas a producir sólo vehículos grandes y SUV enfrentaron graves dificultades en 2008, cuando la demanda se redujo. Evidentemente, las empresas deben tener en cuenta los riesgos globales y las incertidumbres si desean mantener el ajuste estratégico.

Fragmentación de la propiedad de la cadena de suministro

En las últimas décadas la mayoría de las empresas se han integrado de una manera menos vertical. A medida que se han liberado de funciones no esenciales han sido capaces de aprovechar las competencias de los proveedores y clientes que ellas mismas no tenían. Sin embargo, esta nueva estructura de propiedad también ha dificultado la alineación y la administración de la cadena de suministro, pues al estar repartida la cadena entre varios propietarios, cada uno con sus propias políticas e intereses, es más difícil de coordinarla. Este problema podría llegar a hacer que cada etapa de una cadena de suministro trabajara dirigida sólo hacia sus propios objetivos en lugar de hacerlo hacia toda la cadena, y el resultado sería la reducción de la rentabilidad total de la cadena de suministro. Alinear a todos los miembros de una cadena de suministro ha llegado a ser crítico para lograr su ajuste.

Tecnología cambiante y entorno de negocios

Conforme las necesidades de los clientes y la tecnología cambian, las empresas se ven obligadas a replantear la estrategia de su cadena de suministro. Una estrategia que pudo haber sido muy exitosa en un entorno puede debilitarse fácilmente en un escenario que ha cambiado. Dell es un excelente ejemplo de esta dificultad; por más de una década disfrutó de un gran éxito con una estrategia de cadena de suministro basada en vender computadoras personalizadas a sus clientes. Estas computadoras se fabricaban sobre pedido en plantas flexibles, y para 2005 el mercado se había movido hacia las computadoras portátiles (laptops) con lo que los clientes comenzaron a valorar menos la personalización. En consecuencia, Dell se vio obligada a replantear su estrategia de cadena de suministro y empezó a vender a través de tiendas detallistas. Simultáneamente, comenzó a incrementar la cantidad de ensamblaje que subcontrataba con fabricantes de costos bajos. Otro ejemplo es el de Blockbuster, la cual alcanzó un enorme éxito en la década de 1990 con videoclubes que contaban con más variedad de cintas VHS que las tiendas de renta de videos. Con el crecimiento de los DVD, Netflix utilizó el sistema postal para enviar una variedad aún mayor de películas a bajo costo desde centros de distribución centralizados. El crecimiento de la banda ancha permitió a Netflix enviar contenido digital directamente a los hogares de sus clientes. Al mismo tiempo, Redbox desarrolló máquinas despachadoras que permitían que algunos DVD se rentaran a bajo costo. La incapacidad de Blockbuster de ajustarse a esta transformación de la tecnología y al entorno de negocios, ocasionó que se declarara en quiebra en 2010. Con un entorno cambiante, las compañías deben evaluar constantemente la estrategia de su cadena de suministro para mantener el ajuste estratégico.

El entorno y la sustentabilidad

Los temas relacionados con el entorno y la sustentabilidad han cobrado importancia y deben tenerse en cuenta al momento de diseñar una cadena de suministro. En algunos casos la regulación ha motivado cambios; en otros, la percepción de la carencia de sustentabilidad como factor de riesgo ha motivado el cambio. Por ejemplo, el comité directivo de la WEEE (Waste Electrical Electronic Equipment)/RoHS (Restricted Hazardous Substances) de la Unión Europea obligó a los fabricantes de teléfonos celulares a replantear su diseño y estrategias de aprovisionamiento. Starbucks, en contraste, se vio obligada a enfocarse en la sustentabilidad local de sus fuentes de suministro porque una falla en el aprovisionamiento, sobre todo de café de alta calidad, habría afectado de manera importante su capacidad de crecimiento. La compañía desarrolló directrices de aprovisionamiento para garantizar que el café producido cumpliera con los criterios de desempeño ambiental y social en cada etapa de la cadena de suministro. Los temas ambientales representan una gran oportunidad para empresas que a menudo pueden agregar valor para sus clientes y reducir sus propios costos a lo largo de esta dimensión (por ejemplo, con un empaque más apropiado). Estos temas también representan un reto importante porque algunas de las grandes oportunidades requieren coordinación entre los diferentes miembros de la cadena de suministro. Para ser exitosas, las empresas necesitarán diseñar una estrategia que haga que toda la cadena de suministro identifique y aproveche las oportunidades de una sustentabilidad mejorada.

Punto clave

Muchos retos, como la creciente variedad de productos y ciclos de vida más cortos, han hecho que sea más difícil para las cadenas alcanzar el ajuste estratégico. La superación de estos retos ofrece una gran oportunidad a las empresas de administrar la cadena de suministro para lograr una ventaja competitiva.

2.5 RESUMEN

1. ***Explicar por qué el logro del ajuste estratégico es crítico para el éxito total de una compañía.*** La carencia de ajuste estratégico entre las estrategias competitivas y las de la cadena de suministro puede hacer que la cadena de suministro realice acciones que no son compatibles con las necesidades de los clientes, y que les pueden llevar a reducir el superávit y rentabilidad de la cadena de suministro. El ajuste estratégico requiere que todas las funciones en una empresa, así como las etapas de la cadena de suministro, apunten al mismo objetivo, uno que sea compatible con las necesidades de los clientes.

2. ***Describir cómo logra una compañía el ajuste estratégico entre la estrategia de su cadena de suministro y su estrategia competitiva.*** Para lograr el ajuste estratégico, una compañía primero debe entender las necesidades de sus clientes, así como la incertidumbre de la cadena de suministro, e identificar la incertidumbre implícita. El segundo paso es entender las capacidades de la cadena de suministro en términos de eficiencia y capacidad de respuesta. La clave para el ajuste estratégico es garantizar que la capacidad de respuesta de la cadena de suministro sea compatible con las necesidades del cliente, las capacidades de suministros y la incertidumbre implícita resultante. La adaptación de la cadena de suministro es esencial para lograr el ajuste estratégico cuando se atiende a una amplia variedad de clientes con muchos productos a través de diferentes canales.

3. ***Demostrar la importancia de expandir el alcance del ajuste estratégico a través de la cadena de suministro.*** El alcance del ajuste estratégico se refiere a las funciones y etapas en una cadena de suministro que coordinan la estrategia y apuntan a un objetivo común. Cuando el alcance es limitado, las funciones individuales tratan de optimizar su desempeño con base en sus propios objetivos. Esta práctica suele dar por resultado acciones conflictivas que reducen el superávit de la cadena de suministro. Conforme el alcance del ajuste estratégico se agranda para incluir toda la cadena de suministro, las acciones se evalúan con base en su efecto en el desempeño de toda la cadena de suministro, lo que ayuda a incrementar el superávit de ésta.

4. ***Describir los principales retos que deben superarse para administrar exitosamente una cadena de suministro.*** La globalización, la creciente variedad de productos, los ciclos de vida decrecientes de los productos, la fragmentación de las cadenas de suministro, las tecnologías cambiantes, y un enfoque incrementado en la sustentabilidad representan retos importantes para lograr el ajuste estratégico. También representan grandes oportunidades para empresas que pueden abordar con éxito estos retos con su estrategia de cadena de suministro.

Preguntas y temas para debate

1. ¿Cómo caracterizaría la estrategia competitiva de una cadena de tiendas departamentales de lujo como Nordstrom? ¿Cuáles son las necesidades clave que Nordstrom pretende satisfacer?
2. ¿Dónde colocaría la demanda enfrentada por Norstrom en el espectro de incertidumbre implícita de la demanda? ¿Por qué?
3. ¿Qué nivel de capacidad de respuesta sería más apropiado para la cadena de suministro de Norstrom? ¿Qué sería capaz de hacer particularmente bien la cadena de suministro?
4. ¿Cómo puede Nordstrom expandir el alcance del ajuste estratégico a lo largo de su cadena de suministro?
5. Reconsidere las cuatro preguntas anteriores para otras compañías como Amazon, una cadena de supermercados, un fabricante de automóviles, y un detallista de descuento como Walmart.
6. Dé argumentos que apoyen la afirmación de que Walmart ha alcanzado un buen ajuste estratégico entre sus estrategias competitivas y la de la cadena de suministro. ¿Qué retos enfrenta para abrir tiendas de formato más pequeño en entornos urbanos?

7. ¿Cuáles son los factores que afectan la incertidumbre implícita? ¿Cómo difiere la incertidumbre implícita entre una fábrica de acero integrada que mide los tiempos de espera en meses y requiere grandes pedidos, y un centro de servicio de acero que promete tiempos de espera de 24 horas y acepta pedidos de cualquier tamaño?

8. ¿Cuál es la diferencia en la incertidumbre implícita enfrentada por una cadena de tiendas de conveniencia como Seven-Eleven, una cadena de supermercados, y un detallista de descuento como Costco?

9. ¿Cuáles son algunos problemas que suelen presentarse cuando cada etapa de una cadena de suministro se enfoca únicamente en sus propias utilidades al tomar decisiones? Identifique algunas acciones que pueden ayudar a un detallista y a un fabricante que trabajan conjuntamente para expandir el alcance del ajuste estratégico.

Bibliografía

Blackwell, Roger D. y Kristina Blackwell. (Otoño de 1999). “The Century of the Consumer: Converting Supply Chains into Demand Chains.” *Supply Chain Management Review*, pp. 22–32.

Bovet, David M. y David G. Frentzel. (Otoño de 1999). “The Value Net: Connecting for Profitable Growth.” *Supply Chain Management Review*, pp. 96–104.

Fine, Charles H. *Clock Speed, Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage.* Reading, MA: Perseus Books, 1999.

Fisher, Marshall L. (Marzo-abril 1997). “What Is the Right Supply Chain for Your Product?” *Harvard Business Review*, pp. 83–93.

Fuller, Joseph B., James O’Conner y Richard Rawlinson. (Mayo-junio 1993). “Tailored Logistics: The Next Advantage.” *Harvard Business Review*, pp. 87–98.

Gattorna, John. (Septiembre 2006). “Supply Chains Are the Business.” *Supply Chain Management Review*, pp. 42–49.

Gilmore, James H. y B. Joseph Pine II. (2000). *Markets of One: Creating Customer Unique Value Through Mass Customization.* Boston: Harvard Business School Press.

Lee, Hau L. (Primavera de 2002). “Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties.” *California Management Review*, pp. 105–119.

Lee, Hau L. (Octubre 2004). “The Triple-A Supply Chain.” *Harvard Business Review*, pp. 102–112.

Lee, Hau L. (Octubre 2010). “Don’t Tweak Your Supply Chain—Rethink It End to End.” *Harvard Business Review* , pp. 62–69.

Magretta, Joan. (Septiembre-octubre 1998). “Fast, Global, and Entrepreneurial: Supply Chain Management, Hong Kong Style.” *Harvard Business Review*, pp. 102–114.

Magretta, Joan. (Marzo-abril 1998). “The Power of Virtual Integration: An Interview with Dell Computer’s Michael Dell.” *Harvard Business Review*, pp. 72–84.

Nardone, Robert y Sean Monahan. (Noviembre 2007). “How Unilever Aligned Its Supply Chain and Business Strategies.” *Supply Chain Management Review*, pp. 44–50.

Olavson, Thomas, Hau Lee y Gavin DeNyse. (Julio-agosto 2010). “A Portfolio Approach to Supply Chain Design.” *Supply Chain Management Review*, pp. 20–27.

Pine, B. Joseph II. (1999). *Mass Customization.* Boston: Harvard Business School Press.

Ross, David F. (Julio-agosto 2006). “The Intimate Supply Chain.” *Supply Chain Management Review*, pp. 50–57.

Shapiro, Roy D. (Mayo-junio 1984). “Get Leverage from Logistics.” *Harvard Business Review*, pp. 119–127.

Shapiro, Roy D. y James L. Heskett. (1985). *Logistics Strategy: Cases and Concepts.* St. Paul, MN: West Publishing Company.

Stalk, George, Jr. y Thomas M. Hout. (1990). *Competing Against Time.* New York: Free Press.

Swan, Daniel, Sanjay Pal y Matt Lippert. (2009, 4° trimestre). “Finding the Perfect Fit.” *Supply Chain Quarterly*, pp. 24–33.

3



Controladores y métricas de la cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Describir las medidas financieras clave del desempeño de una empresa.
2. Identificar los controladores más importantes del desempeño de una cadena de suministro.
3. Entender el rol de cada controlador al crear el ajuste estratégico entre la estrategia de la cadena de suministro y la estrategia competitiva.
4. Definir las métricas clave que den seguimiento al desempeño de la cadena de suministro en términos de cada controlador.

En este capítulo nuestro objetivo es vincular las medidas financieras clave del desempeño de la empresa al desempeño de la cadena de suministro. Introducimos tres controladores logísticos —instalaciones, inventario y transporte— y los tres controladores interfuncionales (información, aprovisionamiento y fijación de precios) que determinan el desempeño de cualquier cadena de suministro. Analizamos cómo se emplean estos controladores en el diseño, planeación y operación de la cadena de suministro. Definimos varias métricas que pueden usarse para evaluar el desempeño de cada controlador y su impacto en el desempeño financiero.

3.1 MEDIDAS FINANCIERAS DE DESEMPEÑO

En el capítulo 1 vimos que el principal objetivo de una cadena de suministro es incrementar su superávit. Nuestra premisa fue que el incremento del superávit permite incrementar la rentabilidad de la cadena de suministro, lo que facilita mejorar el desempeño financiero de cada miembro de la cadena de suministro. En esta sección definimos medidas financieras importantes reportadas por una empresa e impactadas por el desempeño de la cadena de suministro. En secciones posteriores vinculamos los controladores de la cadena de suministro a las varias medidas financieras. Las definiciones de medidas financieras en esta sección se tomaron de Dyckman, Magee, y Pfeiffer (2011).

Desde la perspectiva de un accionista, el rendimiento sobre el capital invertido (ROE, *Return On Equity*) es la medida principal del desempeño de una empresa.

$$ROE = \frac{Ingreso\ neto}{Capital\ de\ los\ accionistas\ promedio}$$

En tanto que el ROE mide el rendimiento sobre la inversión realizada por los accionistas de la empresa, el rendimiento sobre los activos (ROA, *Return On Assets*) mide el rendimiento obtenido con cada dólar invertido por la empresa en activos.

$$ROA = \frac{Ganancias\ antes\ de\ intereses}{Activos\ totales\ promedio} = \frac{Ingresos\ netos + [Gastos\ por\ intereses \times (1 - Tasa\ fiscal)]}{Activos\ totales\ promedio}$$

Consideremos el desempeño financiero de Amazon.com que se muestra en la tabla 3-1. En 2009 Amazon obtuvo un ROE = 902/5.257 = 17.2% {1,152/6.864 = 16.8% en 2010} y un ROA = [902 + 34*(1 − .35)]/13,813 = 6.7% {[11,152 + 39*(1 − .35)]/18,797 = 6.3% en 2010}. La diferencia entre el ROE y el ROA se conoce como rendimiento sobre el apalancamiento financiero (ROFL, *Return On Financial Leverage*). En 2009 Amazon obtuvo un ROFL = 17.2 − 6.7 = 10.5% {16.8 − 6.3 = 10.5% en 2010}. El ROFL captura la cantidad de ROE que puede atribuirse al apalancamiento financiero (cuentas por cobrar, deuda, etc.). En el caso de Amazon una parte significativa del apalancamiento financiero en 2009 y 2010 provino de cuentas por pagar y no de deuda. Por tanto, una razón importante que define el apalancamiento financiero es la rotación de cuentas por pagar (APT, *Accounts Payable Turnover*).

$$APT = \frac{Costos\ de\ los\ productos\ vendidos}{Cuentas\ por\ pagar}$$

En el caso de Amazon, en 2009 la APT = 18,978/7,364 = 2.58 {26,561/10,372 = 2.56 en 2010}. Una APT pequeña indica que Amazon fue capaz de utilizar el dinero que debía a sus proveedores para financiar una fracción considerable de sus operaciones. En 2009 Amazon financió con eficacia sus propias

Tabla 3-1 Datos financieros seleccionados de Amazon.com Inc.

Año terminado el 31 de diciembre ($ millones)	2010	2009	2008
Rendimientos de operación netos	34,204	24,509	19,166
Costo de los productos vendidos	26,561	18,978	14,896
Utilidad bruta	7,643	5,531	4,270
Ventas, gastos generales, y administrativos	6,237	4,402	3,428
Ingresos de operación	1,406	1,129	842
Gastos por intereses	39	34	71
Otros ingresos (pérdidas) – netos	130	66	130
Ingresos netos antes del impuesto sobre la renta	1,497	1,161	901
Impuestos sobre la renta	352	253	247
Ingresos netos	1,152	902	645
Activos			
Efectivo y equivalentes de efectivo	3,777	3,444	2,769
Inversiones en el corto plazo	4,985	2,922	958
Cuentas por cobrar netas	1,783	1,260	1,031
Inventarios	3,202	2,171	1,399
Activos actuales totales	13,747	9,797	6,157
Propiedad, planta y equipo	2,414	1,290	854
Sobrevalores	1,349	1,234	438
Otros activos	1,265	1,492	705
Activos totales	18,797	13,813	8,314
Pasivos y capital de los accionistas			
Cuentas por pagar	10,372	7,364	4,687
Deuda en el corto plazo			59
Pasivo total actual	10,372	7,364	4,746
Deuda en el largo plazo		109	533
Otros pasivos	1,561	1,083	363
Pasivos totales	11,933	8,556	5,642
Capital de los accionistas	6,864	5,257	2,672

operaciones cerca de 52/2.58 = 20.18 {52/2.56 = 20.31 en 2010} semanas con el dinero de sus proveedores. Un valor bajo de la APT ayudó a Amazon a mejorar su desempeño financiero.

El ROA puede escribirse como el producto de dos razones —margen de utilidad y rotación de activos— como se muestra a continuación:

$$ROA = \frac{\textit{Ganancias antes de intereses}}{\textit{Ingresos por ventas}} = \left(\textit{Margen de utilidad}\right) \times \frac{\textit{Ingresos por ventas}}{\textit{Activos totales}} \left(\textit{Rotación de activos}\right)$$

Por consiguiente, una empresa puede incrementar el ROA acrecentando el margen de utilidad y/o incrementando la rotación de activos. En 2009 Amazon obtuvo un margen de utilidad de [902 + 34*(1 − .35)/24,509 = 3.8% {[1,152 + 39*(1 − .35)]/34,204 = 3.4% en 2010}. El margen de utilidad puede aumentarse si se obtienen mejores precios y se reducen varios gastos incurridos. Una cadena de suministro con capacidad de respuesta permite que una empresa proporcione un alto valor a sus clientes y, por tanto, que obtenga potencialmente precios más altos. Una buena administración de la cadena de suministro también permite a una empresa reducir los gastos incurridos para satisfacer la demanda de los clientes. En el caso de Amazon, un gasto significativo es el costo de envíos salientes. En su informe anual de 2009 reportó costos de envíos salientes de $1,770 millones. Después de tener en cuenta los ingresos por envíos, la pérdida neta por envíos salientes fue de $849 millones, casi de la misma magnitud que los ingresos netos. Evidentemente, una reducción de los costos de envíos salientes puede tener un impacto significativo en el margen de utilidades de Amazon.

Los componentes clave de la rotación de activos son la rotación de cuentas por cobrar (ART, *Accounts Receivable Turnover*); la rotación del inventario (INVT, *Inventory Turnover*); y la rotación de la propiedad, planta y equipo (PPET, *Property, Plant and Equipment Turnover*). Éstos se definen como:

$$ART = \frac{\textit{Ingresos por ventas}}{\textit{Cuentas por cobrar}};\ INVT = \frac{\textit{Costos de los productos vendidos}}{\textit{Inventarios}};\ PPET = \frac{\textit{Ingresos por ventas}}{\textit{PP\&E}}$$

Amazon obtuvo una rotación de cuentas por cobrar de 24,509/1,260 = 19.45 {34,204/1,783 = 19.18 en 2010} en 2009 Amazon cobró relativamente rápido su dinero de las ventas (en casi 52/19.45 = 2.7 semanas en promedio en 2009) después de haber realizado una venta. Amazon rotó su inventario cerca de 18,978/2,171 = 8.74 {26,561/3,202 = 8.30 en 2010} veces, y obtuvo una PPET = 24,509/1,290 = 19.00 {34,204/2,414 = 14.17 en 2010} en 2009. Por consiguiente, el inventario permanecía en Amazon en 2009 durante cerca de 52/8.74 = 5.95 {52/8.30 = 6.27 en 2010} semanas en promedio, y cada dólar invertido en propiedad, planta y equipo apoyaba cerca de $19 {$14.17 en 2010} de ventas en 2009. Observemos que Amazon vio que sus rotaciones de inventario y PPET se redujeron en 2010 con respecto a 2009. Amazon puede mejorar su rotación de activos rotando su inventario más rápido o utilizando su infraestructura de tecnología y almacenamiento existente para soportar un nivel de ventas más alto (o reduciendo la infraestructura de almacenamiento y tecnología necesaria para soportar el nivel de ventas existente).

Otra métrica útil es el ciclo de efectivo a efectivo (C2C, *Cash to Cash*), el cual mide de forma aproximada la cantidad de tiempo desde cuando el efectivo entra al proceso como costo hasta cuando regresa como ingresos cobrados.

C2C = 2 semanas por pagar (1/APT) + semanas en el inventario (1/INVT) + semanas por cobrar (1/ART)

En el caso de Amazon obtenemos que en 2009 C2C = −20.18 + 5.95 + 2.70 = −11.53 {−20.31 + 6.27 = −11.33 en 2010}. En 2009 y 2010 Amazon estuvo cobrando el importe de la venta de productos más de 11 semanas antes de que tuviera que pagar a sus proveedores. Como lo planteamos antes, esto permitió a Amazon lograr un significativo apalancamiento financiero sin tener que endeudarse.

Sin embargo, existen dos medidas importantes, que no forman parte explícitamente de los balances financieros de una empresa, y esas son las rebajas y las ventas perdidas. Las *rebajas* representan los descuentos requeridos para convencer a los clientes de que compren su inventario excedente. Los balances financieros sólo muestran los ingresos recibidos por las ventas, no los ingresos “que se podrían haber recibido”. Para General Motors (GM), uno de los mayores problemas en la primera parte del siglo XXI fueron los descuentos requeridos para mover el inventario excedente de los concesionarios. Estos descuentos perjudicaron significativamente el desempeño financiero. En 2010, una de las mejoras más importantes del desempeño financiero de GM fue su habilidad de vender sus automóviles con descuentos mucho menores porque la cadena de suministro tuvo mucho menos inventario excedente. Las *ventas perdidas* representan ventas que

no se materializaron debido a la carencia de productos que el cliente deseaba comprar. Cada venta perdida corresponde a un margen de producto que se pierde. Tanto las rebajas como las ventas perdidas reducen los ingresos netos y se podría decir que representan el impacto más grande del desempeño de la cadena de suministro en el desempeño financiero de una empresa.

Las empresas como Amazon, Walmart y Zara, que logran un sólido desempeño financiero, lo hacen en gran parte porque sus cadenas de suministro les permiten igualar mejor la oferta y la demanda, por lo cual se reducen las rebajas y las ventas perdidas. Por nuestro breve planteamiento de los balances financieros de Amazon, es evidente que las actividades de administración de la cadena de suministro como planeación, transporte, inventario y manejo de almacén, tienen un impacto significativo en el desempeño financiero. En la siguiente sección identificamos los controladores clave del desempeño de la cadena de suministro que influyen en el desempeño financiero de una empresa.

3.2 CONTROLADORES DEL DESEMPEÑO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO

El ajuste estratégico analizado en el capítulo 2 requiere que la cadena de suministro de una empresa logre el equilibrio entre la capacidad de respuesta y la eficiencia que mejor apoye la estrategia competitiva de la compañía. Para entender cómo puede mejorar una compañía el desempeño de la cadena de suministro en términos de capacidad de respuesta y eficiencia, debemos examinar sus controladores logísticos e interfuncionales: instalaciones, inventario, transporte, información, aprovisionamiento, y fijación de precios. Estos controladores interactúan para determinar el desempeño de la cadena de suministro en función de la capacidad de respuesta y eficiencia; y también afectan las medidas financieras que se explican en la sección 3.1. El objetivo es estructurar los controladores para lograr el nivel deseado de capacidad de respuesta al menor costo posible, con lo que se mejora el superávit de la cadena de suministro y el desempeño financiero de la empresa.

Primero definimos cada controlador y explicamos su impacto en el desempeño de la cadena de suministro.

1. *Las instalaciones* son las ubicaciones físicas reales en la red de la cadena de suministro donde se almacena, ensambla o fabrica el producto. Los dos principales tipos de instalaciones son los sitios de producción y los de almacenamiento. Las decisiones relacionadas con el rol, ubicación, capacidad y flexibilidad de las instalaciones tienen un efecto significativo en el desempeño de la cadena de suministro. Por ejemplo, en 2009 Amazon incrementó el número de instalaciones de almacenamiento (vea el incremento de propiedad, planta y equipo, en la tabla 3-1) situadas cerca de los clientes para mejorar su capacidad de respuesta. En contraste, Blockbuster trató de mejorar su eficiencia en 2010 cerrando muchas instalaciones aun cuando así redujera su capacidad de respuesta. Los costos relacionados con las instalaciones aparecen bajo propiedad, planta y equipo, si son propiedad de la empresa, o bajo ventas, generales y administrativos si son rentadas.

2. *El inventario* comprende toda la materia prima, trabajo en proceso y productos terminados dentro de una cadena de suministro. El inventario que pertenece a una empresa se reporta bajo activos. El cambio de las políticas de inventario puede modificar en gran manera la eficiencia y capacidad de respuesta de la cadena de suministro. Por ejemplo, W. W. Grainger logra capacidad de respuesta manteniendo grandes cantidades de inventario para satisfacer la demanda de sus clientes aun cuando los altos niveles de inventario reduzcan la eficiencia. Tal práctica tiene sentido para Grainger porque sus productos conservan su valor por mucho tiempo. Una estrategia que utiliza altos niveles de inventario puede ser peligrosa en el negocio de ropa de moda donde el inventario pierde valor relativamente rápido con las temporadas y tendencias cambiantes. En lugar de mantener altos niveles de inventario el detallista de ropa español Zara ha trabajado arduamente para acortar los tiempos de espera de nuevos productos y reabastecimiento. Por consiguiente, la compañía tiene mucha capacidad de respuesta pero conserva bajos niveles de inventario, y de este modo Zara ofrece capacidad de respuesta a bajo costo.

3. *El transporte* implica trasladar inventario de punto a punto en la cadena de suministro. El transporte puede adoptar la forma de muchas combinaciones de modos y rutas, cada una con sus propias características de desempeño. Las opciones de transporte tienen un gran impacto en la capacidad de respuesta y eficiencia de la cadena de suministro. Por ejemplo, una compañía de ventas por catálogo puede usar un modo de transporte rápido como FedEx para enviar productos, lo que hace que su cadena de suministro tenga más capacidad de respuesta, pero también menos eficiencia por los altos costos asociados con el uso de

FedEx. Sin embargo, McMaster-Carr y W. W. Grainger han estructurado su cadena de suministro para proporcionar servicio al día siguiente a la mayoría de sus clientes utilizando transporte terrestre. Proporcionan un alto nivel de capacidad de respuesta a bajo costo. En general, el costo de transporte de salida de envíos al cliente se incluye en los gastos de ventas, generales y administrativos, mientras que los costos de transporte de entrada se suelen incluir en el costo de los productos vendidos.

4. *La información* consiste en datos y análisis relacionados con las instalaciones, inventario, transporte, costos, precios y clientes a lo largo de la cadena de suministro. La información es potencialmente el controlador más grande de desempeño de la cadena de suministro porque afecta de manera directa a cada uno de los demás controladores. La información brinda a la administración la oportunidad de hacer las cadenas de suministro más sensibles a la respuesta *y* más eficientes. Por ejemplo, Seven-Eleven Japan ha utilizado la información para igualar mejor la oferta y la demanda, al mismo tiempo que ahorra en la producción y distribución. El resultado es un alto nivel de capacidad de respuesta ante la demanda de los clientes, a la vez que los costos de producción y aprovisionamiento se reducen. En general, la tecnología de la información relacionada con los gastos se incluye bajo gastos de operación (por lo común bajo gastos de ventas, generales y administrativos) o activos. Por ejemplo, en 2009 Amazon incluyó $1240 millones en gastos de tecnología bajo gastos de operación, y otros $551 millones bajo activos fijos a ser depreciados.

5. *El aprovisionamiento* es la decisión de quién realizará una activad particular de la cadena de suministro, como producción, almacenamiento, transporte o el manejo de la información. A nivel estratégico estas decisiones determinan qué funciones realiza una empresa y cuáles subcontrata. Las decisiones de aprovisionamiento afectan tanto la capacidad de respuesta como la eficiencia de una cadena de suministro. Después de que Motorola subcontrató mucha de su producción con fabricantes chinos, vio que su eficiencia mejoró pero que su capacidad de respuesta se había reducido por las largas distancias. Para compensar la reducción de capacidad de respuesta, Motorola comenzó a enviar por avión algunos de sus teléfonos celulares desde China, aun cuando esta decisión incrementó el costo de transporte. Flextronics, un fabricante de aparatos electrónicos por contrato, espera ofrecer capacidad de respuesta y aprovisionamiento eficiente a sus clientes, para lo cual está tratando de que sus instalaciones de producción situadas en lugares de costos altos tengan mucha capacidad de respuesta, a la vez que mantiene la eficiencia de sus instalaciones en países de costos bajos. Flextronics confía en llegar a ser una fuente eficaz para todos los clientes con esta combinación de instalaciones. Los costos de aprovisionamiento aparecen en el costo de los productos vendidos y las deudas con proveedores se anotan bajo cuentas por pagar.

6. *La fijación* de precios determina cuánto cobrará una compañía por los productos y servicios que pone a disposición en la cadena de suministro. La fijación de precios afecta el comportamiento del comprador del producto o servicio y, por consiguiente, el desempeño de la cadena de suministro. Por ejemplo, si una compañía de transporte varía sus cobros con base en el tiempo de espera proporcionado por los clientes, es probable que quienes valoran la eficiencia harán su pedido con anticipación y quienes valoran la capacidad de respuesta estarán dispuestos a esperar y harán su pedido justo antes de que necesiten que se transporte el producto. La fijación de precios diferencial proporciona capacidad de respuesta a los clientes que la valoran, y bajo costo a los que no la valoran tanto. Cualquier cambio en la fijación de precios impacta los ingresos directamente pero también podría afectar los costos con base en el impacto de este cambio en los demás controladores.

Nuestras definiciones de estos controladores pretenden describir la logística y la administración de la cadena de suministro; esta última incluye el uso de los controladores logísticos e interfuncionales para incrementar el superávit de la cadena de suministro. En años recientes los controladores interfuncionales se han vuelto cada vez más importantes al incrementar el superávit de la cadena de suministro. Aun cuando la logística sigue siendo una parte importante, la administración de la cadena de suministro se enfoca cada vez más en los tres controladores interfuncionales.

Es importante tener presente que estos controladores no actúan de manera independiente sino que interactúan para determinar el desempeño global de la cadena de suministro. El buen diseño y operación de la cadena de suministro reconocen esta interacción y hacen los compromisos o compensaciones adecuadas para suministrar el nivel de capacidad de respuesta deseado. Consideremos, por ejemplo, la industria mueblera en Estados Unidos. Los muebles de bajo costo provenientes de Asia se venden en muchas tiendas minoristas de descuento. El objetivo principal de esta cadena de suministro es ofrecer un precio bajo y una

calidad aceptable. La variedad es típicamente baja y los detallistas como Walmart mantienen inventarios de productos terminados. La escasa variedad y los pedidos de reabastecimientos estables permiten a los fabricantes de muebles asiáticos enfocarse en la eficiencia. Dado el inventario disponible, se utilizan los modos de transporte de bajo costo desde Asia. En este caso, el inventario de relativamente bajo costo del detallista permite que la cadena de suministro se vuelva más eficiente por la reducción de los costos de transporte y producción. Por el contrario, algunos fabricantes de muebles estadounidenses se han enfocado en ofrecer variedad. Dada la alta variedad y los precios altos, mantener un inventario de todas las variantes en la tienda detallista sería muy costoso. En este caso, la cadena de suministro se diseña de modo que el detallista mantenga poco inventario. Los clientes colocan sus pedidos con el detallista cuando ven una variante del mueble y seleccionan entre varias opciones. La capacidad de respuesta de la cadena de suministro se logra utilizando la tecnología de la información para transmitir eficazmente la información del pedido, estructurando instalaciones de fabricación flexibles para producir lotes pequeños, y utilizando transporte con capacidad de respuesta para entregar el mueble al cliente. En este caso se emplean instalaciones, transporte, e información con capacidad de respuesta, para reducir los costos de inventario. Como el resto de este capítulo lo ilustrará, la clave para lograr el ajuste estratégico y el desempeño financiero sólido a lo largo de la cadena de suministro es estructurar sus controladores apropiadamente para ofrecer el nivel de capacidad de respuesta deseado y al menor costo posible.

Doheny y colaboradores (2010) señalan que el desempeño de la cadena de suministro afecta casi 35% del desempeño financiero de los detallistas de ropa. Como porcentaje de ventas, mencionan que las rebajas, que representan 10-30% de las ventas, y las ventas perdidas, que representan 5-10% de las ventas, son los controladores dominantes del desempeño financiero de los detallistas. Mencionan además que el transporte representa 2-5% de las ventas, el almacenamiento 1-3%, el manejo del producto en la tienda 3-5%, y los costos de inventario 2-5% de las ventas. Aun cuando la fracción precisa variará para las diferentes cadenas de suministro, es evidente que su desempeño a lo largo de los seis controladores tiene una influencia significativa en el desempeño financiero de una empresa.

Antes de que analicemos con detalle cada uno de los seis controladores, los ponemos en un marco de trabajo que ayude a aclarar el rol de cada uno en el mejoramiento del desempeño de la cadena de suministro.

3.3 MARCO PARA ESTRUCTURAR LOS CONTROLADORES

En el capítulo 2 vimos que el objetivo de la estrategia de una cadena de suministro es procurar el equilibrio entre la capacidad de respuesta y la eficiencia que se ajuste a la estrategia competitiva. Para lograr este objetivo, una compañía debe estructurar la combinación correcta de los controladores logísticos y los tres controladores interfuncionales; su impacto combinado determina entonces la capacidad de respuesta y las utilidades de toda la cadena de suministro.

En la figura 3-1 proporcionamos un marco visual para la toma de decisiones relacionadas con la cadena de suministro. La mayoría de las compañías comienzan con una estrategia competitiva y luego deciden la estrategia de su cadena de suministro. Ésta determina como debe desempeñarse la cadena de suministro con respecto a eficiencia y capacidad de respuesta. La cadena de suministro debe utilizar entonces los tres controladores logísticos y los tres controladores funcionales para lograr el nivel de desempeño que su estrategia dicta y maximizar sus utilidades. Aun cuando en general este marco se considera de arriba abajo, en muchos casos un estudio de los seis controladores puede indicar la necesidad de cambiar la estrategia de la cadena de suministro, e incluso quizá la estrategia competitiva.

Consideremos este marco tomando a Walmart como ejemplo. Su estrategia competitiva es ser un detallista confiable, de bajo costo, de una variedad de productos de consumo masivo. Esta estrategia dicta que la cadena de suministro ideal enfatizará la eficiencia pero también mantendrá un nivel adecuado de capacidad de respuesta en términos de disponibilidad de productos. Walmart utiliza eficientemente los tres controladores logísticos y los tres controladores interfuncionales para lograr este tipo de desempeño de la cadena de suministro. Con el controlador "inventario", Walmart mantiene una cadena de suministro eficiente con niveles bajos de inventario. Por ejemplo, Walmart fue el primero en utilizar el reparto directo, un sistema en el que el inventario no se guarda en un almacén sino que se envía desde el fabricante a las tiendas, con una breve parada en un centro de distribución, donde el producto se transfiere de los camiones del proveedor a los camiones de entrega al cliente. Esto reduce significativamente el inventario porque los productos se guardan sólo en las tiendas, no en las tiendas y en los almacenes. Con respecto al inventario,

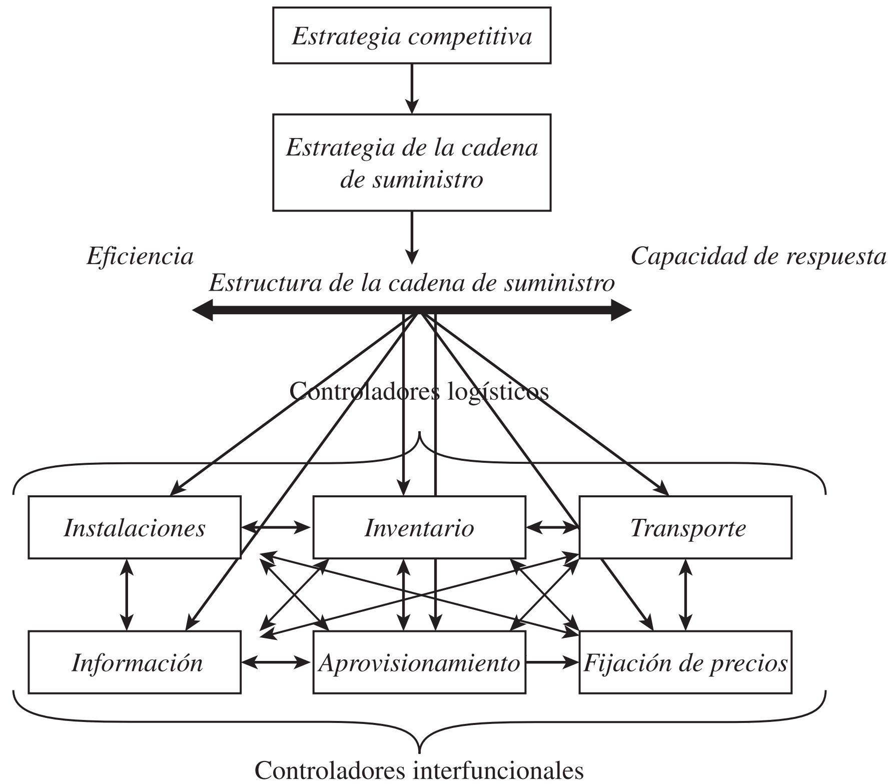


FIGURA 3-1 Marco para la toma de decisiones relacionadas con la cadena de suministro.

Walmart favorece la eficiencia sobre la capacidad de respuesta. Por lo que se refiere al "transporte", Walmart utiliza su propia flotilla para mantener una alta capacidad de respuesta, lo cual en este caso incrementa los costos de transporte, pero los beneficios en términos de inventario reducido y disponibilidad mejorada de los productos lo justifican. En cuanto al controlador "instalaciones", Walmart utiliza centros de distribución centralizados dentro de su red de tiendas para reducir el número de instalaciones e incrementar la eficiencia en cada centro de distribución. Walmart construye tiendas detallistas sólo donde la demanda es suficiente para justificar tener varias de ellas apoyadas por un centro de distribución, con lo cual se incrementa la eficiencia de sus activos de transporte. Walmart ha invertido significativamente más que sus competidores en la tecnología de la información, lo que le permite transferir la información requerida a través de la cadena de suministro a los proveedores que fabrican solamente lo que tiene demanda. En consecuencia, Walmart es líder en el uso del controlador "información" para mejorar la capacidad de respuesta y reducir la inversión en el inventario. Con respecto al controlador "aprovisionamiento", Walmart identifica proveedores eficientes de cada producto que vende. Walmart les hace grandes pedidos, lo que les permite ser eficientes al explotar economías de escala. Por último, con el controlador "fijación de precios", Walmart emplea la práctica de "precios bajos todos los días (EDLP, *Every Day Low Pricing*)" para sus productos. Esto garantiza que la demanda permanezca estable y que no fluctúe con las variaciones de los precios. Toda la cadena se enfoca entonces en satisfacer esta demanda de una manera eficiente. Walmart utiliza todos los controladores de la cadena de suministro para lograr el balance correcto entre la capacidad de respuesta y la eficiencia, de modo que su estrategia competitiva y la estrategia de la cadena de suministro estén en armonía.

Dedicamos las siguientes seis secciones a una explicación detallada de cada uno de los tres controladores logísticos y de los tres controladores interfuncionales, sus roles en la cadena de suministro, y su impacto en el desempeño financiero.

3.4 INSTALACIONES

En esta sección analizamos el rol que las instalaciones desempeñan en la cadena de suministro y las decisiones críticas relacionadas con ellas que necesitan tomar los administradores de la cadena de suministro.

Rol en la cadena de suministro

Si pensamos en el inventario como el *qué* pasa por la cadena de suministro y en el transporte como el *cómo* pasa, entonces las instalaciones son el *dónde* de la cadena de suministro. Son los lugares hasta o desde los cuales se transporta el inventario. Dentro de una instalación, el inventario se transforma en otro estado (fabricación) o se guarda (almacenamiento).

Rol en la estrategia competitiva

Las instalaciones son un controlador clave del desempeño de la cadena de suministro en términos de capacidad de respuesta y eficiencia. Por ejemplo, las compañías pueden lograr economías de escala cuando un producto se fabrica o almacena en sólo un lugar; esta centralización incrementa la eficiencia. La reducción de costos, sin embargo, llega a expensas de la capacidad de respuesta, porque muchos de los clientes de una compañía se encuentran lejos de la instalación de producción. Lo opuesto también es verdad. La ubicación de instalaciones cerca de los clientes incrementa el número de las instalaciones necesarias y en consecuencia reduce la eficiencia. Si el cliente lo demanda y está dispuesto a pagar por la capacidad de respuesta que el tener numerosas instalaciones agrega, entonces esta decisión de contar con ellas ayuda a satisfacer los objetivos de estrategia competitiva de la compañía.

EJEMPLO 3-1 Toyota y Honda

Tanto Toyota como Honda aplican decisiones relacionadas con las instalaciones para tener más capacidad de respuesta ante sus clientes. El objetivo final de estas compañías es abrir instalaciones de fabricación en cada mercado importante en el que incursionan. Aun cuando existen otros beneficios derivados de la apertura de instalaciones locales, como protección contra fluctuación de la moneda y barreras comerciales, el incremento de la capacidad de respuesta desempeña un rol importante en la decisión de Toyota y Honda de situar instalaciones en sus mercados locales. La flexibilidad de las instalaciones de Honda de ensamblar tanto vehículos deportivos utilitarios (SUV, *Sports Utility Vehicle*) como automóviles en la misma planta, permitió a la compañía mantener costos bajos en la recesión de 2008. Mientras las instalaciones de producción de vehículos SUV de sus competidores estuvieron ociosas, las de Honda tuvieron un alto grado de utilización.

Componentes de las decisiones relacionadas con las instalaciones

Las decisiones con respecto a instalaciones son una parte crucial del diseño de una cadena de suministro. A continuación identificamos algunos componentes de las decisiones relacionadas con las instalaciones que las compañías deben analizar.

ROL. Las empresas deben decidir si las instalaciones de producción serán flexibles, dedicadas, o una combinación de ambas. La capacidad flexible puede utilizarse para muchos tipos de productos pero con frecuencia es menos eficiente, en tanto que la capacidad dedicada puede usarse para sólo un número limitado de productos pero es más eficiente. Las empresas también deben decidir si diseñar una instalación enfocada en el producto o en las funciones. Una instalación enfocada en el producto realiza todas las funciones (por ejemplo, fabricación y ensamble) necesarias para producir un solo tipo de producto. La instalación enfocada en las funciones realiza un conjunto dado de funciones (por ejemplo, fabricación o ensamble) con muchos tipos de productos. El enfoque en el producto permite adquirir más experiencia sobre un tipo particular de producto, a expensas de la experiencia funcional que proviene de una metodología funcional.

En cuanto a los almacenes y centros de distribución, las empresas deben decidir si serán principalmente instalaciones de reparto directo o de almacenamiento. En instalaciones de reparto directo se descargan los camiones que llegan de los proveedores; el producto se divide en lotes pequeños y de inmediato se cargan en camiones que salen rumbo a las tiendas. Cada camión que sale rumbo a las tiendas lleva una variedad de productos, algunos de cada camión que llega del proveedor. En cuanto a las instalaciones de almacenamiento, las empresas deben decidir qué productos se almacenarán en cada instalación.

UBICACIÓN La decisión de dónde ubicará una compañía sus instalaciones constituye una gran parte del diseño de una cadena de suministro. Un compromiso básico en este caso es o centralizar para obtener economías de escala, o descentralizar para tener una mayor capacidad de respuesta por la cercanía a los clientes.

Las compañías también deben considerar una serie de temas relacionados con las diversas características del área local en que se ubique la instalación. Éstos incluyen factores macroeconómicos, la calidad y costo de los trabajadores, el costo de la instalación, la disponibilidad de la infraestructura, la proximidad a los clientes, la ubicación de otras instalaciones de la empresa, efectos fiscales y otros factores estratégicos.

CAPACIDAD Las compañías también deben determinar la capacidad de una instalación de realizar su función o funciones pensadas. Una gran capacidad excedente permite a la instalación responder a oscilaciones drásticas de las demandas que debe satisfacer. Sin embargo, la capacidad excedente implica costos y por consiguiente puede reducir la eficiencia. Quizás una instalación con poca capacidad excedente sea más eficiente por unidad de producto que fabrica que una con mucha capacidad sin utilizar. La instalación de alto uso, sin embargo, tendrá dificultades para responder a fluctuaciones de la demanda. Por consiguiente, una compañía debe hacer un compromiso para determinar la cantidad correcta de capacidad que debe tener en cada una de sus instalaciones.

MÉTRICAS RELACIONADAS CON LA INSTALACIÓN Las decisiones relacionadas con la instalación impactan tanto el desempeño financiero de la empresa como la capacidad de respuesta de la cadena de suministro ante los clientes. Por el lado financiero, las decisiones relacionadas con las instalaciones impactan el costo de los productos vendidos y los activos representados por la planta y el equipo. Un gerente debe dar seguimiento a las métricas relacionadas con la instalación que influyen en el desempeño de la cadena de suministro, y que se enuncian a continuación.

- ***Capacidad*** mide la cantidad máxima que puede procesar una instalación.
- ***Utilización*** mide la fracción de la capacidad que actualmente se está utilizando en la instalación. La utilización afecta tanto el costo unitario de procesamiento como los retrasos asociados. Los costos unitarios tienden a declinar (la rotación de la planta, propiedad y equipo se incrementa) y los retrasos a incrementarse, a medida que se incrementa la utilización.
- ***Tiempo de procesamiento/preparación/inactividad/ocioso*** mide la fracción de tiempo en que la instalación estuvo procesando unidades, en preparación para procesar unidades, no disponible porque estaba inactiva, u ociosa porque no había unidades que procesar. Idealmente, la utilización debe estar limitada por la demanda y no por el tiempo de preparación o de inactividad.
- ***Costo de producción por unidad*** mide el costo promedio de producir una unidad. Estos costos pueden medirse por unidad, por caja o por peso, según el producto.
- ***Pérdidas de calidad*** miden la fracción de la producción perdida debido a defectos. Las pérdidas de calidad perjudican tanto el desempeño financiero como la capacidad de respuesta.
- ***Tiempo teórico de flujo/ciclo de producción*** mide el tiempo requerido para procesar una unidad si no hay retrasos en ninguna etapa.
- ***Tiempo de flujo/ciclo real promedio*** mide el tiempo real promedio requerido para procesar todas las unidades durante un tiempo específico, como una semana o un mes. El tiempo de flujo/ciclo real incluye el tiempo teórico y cualesquier retrasos. Esta métrica debe utilizarse cuando se establezcan los tiempos de entrega de los pedidos.
- ***Eficiencia del tiempo de flujo*** es la razón del tiempo de flujo teórico al tiempo de flujo real promedio. Los valores bajos de eficiencia del tiempo de flujo indican que una gran parte del tiempo se consume en espera.
- ***Variedad del producto*** mide el número de productos o familias de productos procesados en una instalación. Es probable que los costos de procesamiento y los tiempos de flujo se incrementen con la variedad de productos.
- ***Contribución al volumen del 20% superior de unidades de control de inventario (SKU) y clientes*** mide la fracción del volumen total procesado por una instalación, que proviene del 20% superior de unidades de control de inventario o clientes. Un resultado 80/20 en el que el 20% superior contribuye con 80% del volumen indica los probables beneficios de una instalación en la que se utilizan procesos distintos para procesar el 20% superior y el 80% restante.
- ***Tamaño de lote de producción promedio*** mide la cantidad promedio producida en cada lote. Los tamaños de lote grandes reducen el costo de producción pero incrementan los inventarios.
- ***Nivel de servicio de producción*** mide la fracción de las órdenes de producción terminadas a tiempo y completas.

COMPROMISO TOTAL: CAPACIDAD DE RESPUESTA FRENTE A EFICIENCIA El compromiso fundamental que los gerentes enfrentan cuando toman decisiones relacionadas con las instalaciones es entre el costo del número, ubicación, capacidad y tipo de instalaciones (eficiencia), y el nivel de capacidad de respuesta que estas instalaciones ofrecen a los clientes de la compañía. Al incrementar el número de instalaciones se incrementan los costos de instalaciones e inventario, pero se reducen los costos de transporte y el tiempo de respuesta. Si se incrementan la flexibilidad o la capacidad de una instalación, se incrementa el costo de las instalaciones pero se reducen los costos de inventario y el tiempo de respuesta.

3.5 INVENTARIO

En esta sección analizamos el rol que el inventario desempeña en la cadena de suministro y cómo lo utilizan los gerentes para impulsar el desempeño de la cadena de suministro.

Rol en la cadena de suministro

El inventario en la cadena de suministro existe debido al desajuste entre la oferta y la demanda. Este desajuste es intencional en una fábrica de acero, donde es económico fabricar grandes lotes que luego se almacenan para venderlos en el futuro. El desajuste también es intencional en una tienda detallista donde el inventario se mantiene en previsión de la demanda futura. Un importante rol que el inventario desempeña en la cadena de suministro es incrementar la cantidad de la demanda que se puede satisfacer teniendo el producto listo y disponible cuando el cliente lo desea. Otro rol significativo que el inventario desempeña es reducir el costo explotando las economías de escala que puedan existir durante la producción y distribución.

El inventario afecta los activos que se conservan, los costos en que se incurre, y la capacidad de respuesta provista en la cadena de suministro. Los altos niveles de inventario en una cadena de suministro de ropa mejoran la capacidad de respuesta pero también la dejan vulnerable a la necesidad de rebajas, al reducir márgenes de utilidad. Los bajos niveles de inventario mejoran las rotaciones de éste pero pueden dar lugar a ventas perdidas si los clientes no pueden encontrar los productos que desean comprar.

El inventario también tiene un impacto significativo en el tiempo de flujo de material en una cadena de suministro. El *tiempo de flujo de material* es el que transcurre entre el momento en que el material entra a la cadena de suministro y en que sale. Para una cadena de suministro, el *rendimiento* es la velocidad a la que ocurren las ventas. Si I representa el inventario, T el tiempo de flujo, y D el *rendimiento*, los tres pueden relacionarse aplicando la ley de Little como sigue:

$$I = DT \quad \textbf{(3.1)}$$

Por ejemplo, si el tiempo de flujo de un proceso de ensamble de un automóvil es de 10 horas y el rendimiento es de 60 unidades por hora, la ley de Little nos dice que el inventario es de $60 \times 10 = 600$ unidades. Si fuéramos capaces de reducir el inventario a 300 unidades mientras mantenemos el rendimiento constante, reduciríamos nuestro tiempo de flujo a 5 horas (300/60). Observamos que en esta relación, el inventario y el rendimiento deben tener unidades compatibles.

La conclusión lógica es que el inventario y el tiempo de flujo son sinónimos en una cadena de suministro porque el rendimiento suele depender de la demanda del cliente. Los gerentes deben llevar a cabo acciones que reduzcan la cantidad de inventario sin incrementar el costo o reducir la capacidad de respuesta, porque el tiempo de flujo reducido puede ser una ventaja significativa en una cadena de suministro.

Rol en la estrategia competitiva

La forma, ubicación y cantidad del inventario permiten que una cadena de suministro varíe de ser de bajo costo a una de mucha capacidad de respuesta. Las grandes cantidades de inventario de productos terminados cercanas a los clientes permiten que una cadena de suministro tenga capacidad de respuesta, pero a un costo alto. El inventario centralizado en forma de materia prima permite a una cadena de suministro reducir el costo pero a expensas de la capacidad de respuesta. El objetivo de un buen diseño de cadena de suministro es encontrar la forma correcta, la ubicación, y la cantidad de inventario que ofrezcan el nivel correcto de capacidad de respuesta al menor costo posible.

EJEMPLO 3-2 Amazon.com

Amazon trata de proporcionar una amplia variedad de libros (entre otros productos) a sus clientes. Los libros que son éxito de ventas se mantienen en muchos almacenes regionales cerca de los clientes para una alta capacidad de respuesta. Los libros de movimiento más lento se conservan en pocos almacenes para reducir el costo de inventario a expensas de alguna capacidad de respuesta. Algunos de los libros de lento movimiento no se mantienen en el inventario sino que se obtienen del editor o distribuidor, o se imprimen cuando los solicita un cliente. Amazon cambia la forma, ubicación y cantidad del inventario que mantiene conforme al nivel de ventas de un libro para obtener el equilibrio correcto de capacidad de respuesta y eficiencia.

Componentes de las decisiones relacionadas con el inventario

A continuación identificamos las decisiones más importantes relacionadas con el inventario que los gerentes de una cadena de suministro deben tomar para crear realmente cadenas con más capacidad de respuesta y más eficiencia.

INVENTARIO DE CICLO El *inventario de ciclo* es la cantidad promedio de inventario utilizado para satisfacer la demanda entre recepciones de embarques del proveedor. El tamaño del inventario de ciclo depende de la producción, el transporte o la compra de material en grandes lotes. Las compañías producen o compran en grandes lotes para explotar las economías de escala en el proceso de producción, transporte y compras. El incremento del tamaño del lote, sin embargo, conlleva un incremento de los costos de manejo. Como ejemplo de una decisión relacionada con el inventario de ciclo, consideremos un detallista de libros en línea. Sus ventas promedian unos 10 camiones cargados de libros por mes. Las decisiones relacionadas con el inventario de ciclo que el detallista debe tomar son cuánto pedir para reabastecerse y con qué frecuencia debe colocar estos pedidos. El detallista podría pedir 10 camiones una vez cada mes, o un camión cada tres días. El compromiso básico que los gerentes de la cadena de suministro enfrentan es el costo de mantener grandes lotes de inventario (cuando el inventario de ciclo es alto) frente al costo de pedir producto con frecuencia (cuando el inventario de ciclo es bajo).

INVENTARIO DE SEGURIDAD El *inventario de seguridad* es el que se mantiene en caso de que la demanda exceda las expectativas; se mantiene para contrarrestar la incertidumbre. Si el mundo fuera perfectamente predecible, sólo se requeriría el inventario de ciclo. Sin embargo, como la demanda es incierta y puede exceder las expectativas, las compañías mantienen el inventario de seguridad para satisfacer demandas inesperadamente altas. Los gerentes enfrentan una decisión clave cuando determinan cuánto inventario de seguridad deben mantener. Por ejemplo, un detallista de juguetes como Toys "R" Us debe calcular su inventario de seguridad para la temporada de compras decembrinas. Si cuenta con demasiado inventario quizá no pueda vender todos los juguetes y tendrá que venderlos con descuento después de las fiestas. Si tiene poco inventario entonces perderá ventas, y con ello el margen que dichas ventas habrían producido. Por consiguiente, la selección del inventario de seguridad implica hacer un compromiso entre los costos de tener demasiado inventario y los costos de perder ventas por no tenerlo.

INVENTARIO ESTACIONAL El *inventario estacional* se acumula para contrarrestar la variabilidad estacional predecible de la demanda. Las compañías que utilizan inventario estacional lo acumulan en periodos de baja demanda y lo guardan para periodos de alta demanda cuando no tendrán la capacidad de producir lo necesario para satisfacer la demanda. Los gerentes enfrentan decisiones clave al determinar si acumular inventario estacional, y si lo hacen, al decidir qué tanto acumular. Si una compañía puede cambiar con rapidez la tasa de su sistema de producción a un costo muy bajo, entonces quizá no requiera el inventario estacional, porque el sistema de producción puede ajustarse a un periodo de alta demanda sin incurrir en grandes costos. Sin embargo, si el cambio de la tasa de producción es caro (por ejemplo, cuando se debe contratar o despedir trabajadores), entonces sería sensato que la compañía estableciera una tasa de producción uniforme y acumulara su inventario durante periodos de baja demanda. Por consiguiente, el compromiso básico que los gerentes de la cadena de suministro enfrentan al determinar cuánto inventario estacional acumular es el costo de manejar el inventario estacional adicional frente al costo de tener una tasa de producción más flexible.

NIVEL DE DISPONIBILIDAD DEL PRODUCTO *El nivel de disponibilidad del producto* es la fracción de la demanda que se satisface a tiempo con producto mantenido en el inventario. Un alto nivel de disponibilidad

de producto permite un alto nivel de capacidad de respuesta pero incrementa el costo porque se mantiene mucho inventario que rara vez se utiliza. Por el contrario, un bajo nivel de disponibilidad de producto reduce el costo de mantener el inventario pero el resultado es una mayor fracción de clientes que no son atendidos a tiempo. El compromiso básico cuando se determina el nivel de disponibilidad del producto es entre el costo del inventario para incrementar la disponibilidad de producto y la pérdida por no atender a los clientes a tiempo.

MÉTRICAS RELACIONADAS CON EL INVENTARIO Las decisiones relacionadas con el inventario afectan el costo de los productos vendidos, el ciclo efectivo a efectivo, y los activos mantenidos por la cadena de suministro y su capacidad de responder a los clientes. Un gerente debe dar seguimiento a las métricas relacionadas con el inventario que influyen en el desempeño de la cadena de suministro, y que se enuncian a continuación:

- ***Tiempo de ciclo de efectivo a efectivo*** es una métrica de alto nivel que incluye los inventarios, las cuentas por pagar, y las cuentas por cobrar.
- ***Inventario promedio*** mide la cantidad promedio de inventario mantenido. El inventario promedio debe medirse en unidades, días de demanda, y valor financiero.
- ***Rotaciones de inventario*** miden el número de veces que el inventario rota en un año. Es la razón del inventario promedio al costo de los productos vendidos o las ventas.
- ***Productos con más de un número especificado de días en el inventario*** identifica los productos de los cuales la empresa mantiene un alto nivel de inventario. Esta métrica puede usarse para identificar productos con sobreoferta o para identificar razones que justifiquen el inventario alto, como descuentos de precios o un movimiento muy lento.
- ***Tamaño del lote de reabastecimiento promedio*** mide la cantidad promedio en cada pedido de reabastecimiento. La unidad de control de existencias (SKU) debe medir el tamaño del lote en términos tanto de unidades como de días de demanda. Se puede calcular promediando con base en el tiempo la diferencia entre el inventario máximo y el mínimo (medido en cada ciclo de reabastecimiento) disponibles.
- ***Inventario de seguridad promedio*** mide la cantidad promedio de inventario disponible cuando llega un pedido de reabastecimiento. La unidad de control de existencias (SKU) debe medir el inventario de seguridad promedio tanto en unidades como en días de demanda. Se puede calcular, promediando con base en el tiempo, el inventario mínimo disponible en cada ciclo de reabastecimiento.
- ***Inventario estacional*** mide la diferencia entre el flujo de entrada del producto (tanto del inventario de ciclo como del de seguridad) y sus ventas, que se compra sólo para atender los incrementos repentinos anticipados de la demanda.
- ***Tasa de surtido*** (pedido/caja) mide la fracción de pedidos/demandas que se atendió a tiempo con el inventario. La tasa de surtido no debe promediarse con base en el tiempo sino con base en un número especificado de unidades de demanda (por ejemplo, cada mil, millón, etcétera).
- ***Fracción de tiempo sin inventario*** mide la fracción de tiempo que una SKU particular tuvo inventario cero. Esta fracción puede usarse para estimar las ventas perdidas durante el periodo sin inventario.
- ***Inventario obsoleto*** mide la fracción del inventario que sobrepasó una fecha de obsolescencia específica.

COMPROMISO TOTAL: CAPACIDAD DE RESPUESTA FRENTE A EFICIENCIA El compromiso fundamental que enfrentan los gerentes cuando toman decisiones relacionadas con el inventario es entre la capacidad de respuesta y la eficiencia. El incremento del inventario hace que la cadena de suministro responda más rápido al cliente. Un nivel más alto de inventario también reduce los costos de producción y transporte debido a las economías de escala mejoradas en ambas funciones. Esta opción, sin embargo, incrementa el costo de manejo del inventario.

3.6 TRANSPORTE

En esta sección analizamos el rol del transporte en la cadena de suministro y las decisiones clave relacionadas con él que deben tomar los gerentes de la cadena de suministro.

Rol en la cadena de suministro

El transporte mueve el producto entre las diferentes etapas en una cadena de suministro e impacta tanto la capacidad de respuesta como la eficiencia. El transporte rápido permite que una cadena de suministro tenga más capacidad de respuesta pero reduce su eficiencia. El tipo de transporte que una compañía utiliza también afecta al inventario y las ubicaciones de las instalaciones en la cadena de suministro. Dell, por ejemplo, recibe por avión algunos componentes desde Asia porque esto permite a la compañía reducir el nivel de inventario. Evidentemente, tal práctica también incrementa la capacidad de respuesta pero reduce la eficiencia del transporte porque es más costoso que transportar partes por barco.

Rol en la estrategia competitiva

El transporte permite a una empresa ajustar la ubicación de sus instalaciones e inventario para determinar el equilibrio correcto entre capacidad de respuesta y eficiencia. Una empresa que vende artículos costosos, como los marcapasos, puede utilizar transporte rápido para tener capacidad de respuesta a la vez que centraliza sus instalaciones e inventario para reducir el costo. En contraste, una empresa que vende artículos baratos de alta demanda, por ejemplo focos, puede mantener una cantidad bastante grande de inventario cerca del cliente y luego utilizar un transporte de bajo costo como barco, ferrocarril y camiones totalmente cargados para reabastecer el inventario desde plantas localizadas en países de costos bajos.

EJEMPLO 3-3 Blue Nile

Blue Nile es un detallista de diamantes en línea que ha utilizado transporte de respuesta rápida con FedEx para enviar diamantes a clientes en Estados Unidos, Canadá y varios países de Europa y Asia. Dado el alto valor de los diamantes, Blue Nile ofrece envíos gratuitos para entregas nocturnas. El envío de respuesta rápida permite a Blue Nile centralizar su inventario de diamantes y también eliminar la necesidad de costosos escaparates. A pesar de los altos costos de transporte, Blue Nile tiene costos muy bajos en comparación con los detallistas que cuentan con instalaciones físicas debido a los bajos gastos de instalaciones e inventario. Por consiguiente, Blue Nile es capaz de ofrecer precios mucho más bajos que sus competidores establecidos en instalaciones físicas.

Componentes de las decisiones relacionadas con el transporte

A continuación identificamos componentes del transporte que las compañías deben analizar cuando diseñan y operan una cadena de suministro.

DISEÑO DE UNA RED DE TRANSPORTE La red de transporte es el conjunto de modos de transporte, ubicaciones y rutas a lo largo de las cuales puede enviarse el producto. Una compañía debe decidir si transportar desde una fuente de suministro directamente al punto de demanda o a través de puntos de consolidación intermedios. Las decisiones de diseño también contemplan si se incluirán o no múltiples puntos de oferta o demanda en un solo recorrido.

ELECCIÓN DEL MODO DE TRANSPORTE El modo de transporte es la manera en la cual un producto se desplaza de un lugar a otro en la cadena de suministro. Las compañías pueden escoger entre aviones, camiones, ferrocarril, barcos u oleoductos como modos de transporte para sus productos. En la actualidad, los productos informativos también pueden enviarse por Internet. Cada modo tiene diferentes características con respecto a la velocidad y tamaño de los envíos (paquetes individuales, tarimas, camiones y barcos totalmente cargados), el costo del envío, y la flexibilidad, que hacen que las compañías seleccionen un modo particular sobre los demás.

MÉTRICAS RELACIONADAS CON EL TRANSPORTE Las decisiones relacionadas con el transporte de entrada afectan el costo de los productos vendidos en tanto que los costos del transporte de salida son parte de los gastos de ventas, generales y administrativos. Por consiguiente, los gastos de transporte afectan el mar-

gen de utilidad. Un gerente debe dar seguimiento a las métricas relacionadas con el transporte que afectan el desempeño de la cadena de suministro y que se enuncian a continuación.

- ***Costo promedio de transporte entrante*** normalmente mide el costo de traer el producto a la instalación como un porcentaje de las ventas o costo de los productos vendidos (COGS, *Cost Of Goods Sold*). Idealmente, este costo debe medirse por unidad traída, pero puede ser difícil. En general el costo del transporte entrante se incluye en el costo de los productos vendidos. Es útil para separar este costo por proveedor.
- ***Tamaño promedio de envío entrante*** mide el número promedio de unidades o dólares en cada envío que llega a una instalación.
- ***Costo promedio de transporte entrante por envío*** mide el costo promedio de transporte de cada envío entrante. Junto con el tamaño del envío entrante, esta métrica identifica las oportunidades de mayores economías de escala en el transporte entrante.
- ***Costo promedio de transporte saliente*** mide el costo de enviar al cliente un producto desde una instalación. Idealmente, este costo debe medirse por unidad enviada, pero a menudo se mide como un porcentaje de las ventas. Es útil para separar esta métrica por cliente.
- ***Tamaño promedio del envío saliente*** mide el número promedio de unidades o dólares en cada envío que sale de una instalación.
- ***Costo promedio de transporte saliente por envío*** mide el costo de transporte de cada envío que sale. Junto con el tamaño del envío saliente, esta métrica identifica oportunidades de mayores economías de escala en el transporte de salida.
- ***Fracción transportada por modo*** mide la fracción de transporte (en unidades o dólares) que utiliza cada modo de transporte. Esta métrica puede usarse para estimar si ciertos modos se sobreutilizan o se subutilizan.

COMPROMISO TOTAL: CAPACIDAD DE RESPUESTA FRENTE A EFICIENCIA El compromiso fundamental en cuanto a transporte es entre el costo de transporte de un producto dado (eficiencia) y la velocidad a que se transporta el producto (capacidad de respuesta). La utilización de estos modos rápidos de transporte incrementa la capacidad de respuesta y el costo de transporte, pero reduce el costo de mantener el inventario.

3.7 INFORMACIÓN

En esta sección analizamos el rol de la información en la cadena de suministro, así como las decisiones relacionadas con ella que deben tomar los gerentes de una cadena de suministro.

Rol en la cadena de suministro

Una buena información puede ayudar a mejorar la utilización de los activos de una cadena de suministro y la coordinación de sus flujos para incrementar la capacidad de respuesta y reducir los costos. Seven-Eleven Japan utiliza la información para mejorar la disponibilidad del producto, al mismo tiempo que reduce los inventarios. Walmart utiliza la información sobre envíos de proveedores para facilitar el reparto directo y reducir los gastos de inventario y transporte. Li & Fung, un grupo comercial global que vende bienes de consumo sensibles al tiempo, como la ropa, utiliza información sobre sus fabricantes participantes para colocar cada pedido con el proveedor más apropiado. Por rutina, las aerolíneas utilizan información para ofrecer el número correcto de asientos a precio de descuento, y dejan suficientes asientos para clientes de negocios que hacen reservaciones de último minuto y que están dispuestos a pagar un precio alto. Cada uno de estos ejemplos ilustra la importancia de la información como controlador clave que puede usarse para obtener una mayor capacidad de respuesta al mismo tiempo que se mejora la eficiencia.

Rol en la estrategia competitiva

La información correcta puede servir para que una cadena de suministro satisfaga mejor las necesidades de sus clientes a un costo menor. La inversión apropiada en tecnología de la información mejora la visibilidad de las transacciones y la coordinación de las decisiones a través de la cadena de suministro. La coordinación es esencial para que todas sus etapas trabajen juntas en busca de un objetivo común. El objetivo en general

debe ser compartir la cantidad mínima de información requerida para lograr la coordinación porque, más allá de un cierto punto, el costo marginal de manejar información adicional se incrementa, en tanto que el beneficio marginal derivado de la información adicional se reduce. Los siguientes ejemplos ilustran cómo puede usarse la información para ofrecer productos personalizados y mejorar el desempeño de la cadena de suministro.

EJEMPLO 3-4 Andersen Windows

Andersen Windows, un importante fabricante de ventanas de madera residenciales ubicado en Bayport Minnesota, ha invertido en un sistema de información que le permite llevar con rapidez productos al mercado. Este sistema llamado "Window of Knowledge" permite que los distribuidores y los clientes diseñen ventanas ajustadas a sus necesidades. Los usuarios pueden seleccionar de una biblioteca de más de 50 000 componentes que pueden combinar en cualquier número de formas. El sistema ofrece de inmediato al cliente cotizaciones de precios y envía automáticamente el pedido a la fábrica si el cliente decide comprar. Esta inversión en información no sólo ofrece al cliente una variedad mucho más amplia de productos, sino que también permite que Andersen responda con más rapidez al cliente, ya que envía el pedido del cliente a la fábrica en cuanto se coloca el pedido.

EJEMPLO 3-5 Sunsweet Growers

Sunsweet Growers, un productor de frutas secas de California, implementó una suite de planeación de ventas y operaciones para su cadena de suministro (S&OP, *Sales and Operations Planning*) para reemplazar su sistema de planeación basado en Excel. La oferta de la compañía es altamente estacional con la cosecha que ocurre principalmente durante septiembre y octubre. La demanda también es estacional con tiempos pico que ocurren durante el periodo de Navidad. Una buena planeación, por tanto, puede ser muy valiosa. El objetivo de Sunsweet al implementar la suite era doble: cada función debe operar con los mismos datos y una capacidad de advertencia temprana debe alertar a los planeadores y gerentes sobre cualquier desajuste potencial entre la oferta y la demanda. Después de la implementación las sobreproducciones se redujeron de 30% a menos de 15%, y la precisión de los pronósticos mejoró de 15 a 20%. Las alertas del sistema de advertencia temprana permitieron que los planeadores reaccionaran con dos a tres semanas de anticipación antes de la implementación.

Componetes de las decisiones relacionadas con la información

A continuación consideremos los componentes clave de la información que una compañía debe analizar para incrementar la eficiencia y mejorar la capacidad de respuesta dentro de su cadena de suministro.

EMPUJE FRENTE A TIRÓN Cuando se diseñan procesos de la cadena de suministro, los gerentes deben determinar si son parte de la fase de empuje o de tirón en la cadena de suministro. En el capítulo 1 analizamos esta distinción, pero la mencionamos otra vez porque los diferentes tipos de sistemas requieren diferentes tipos de información. Los sistemas de empuje se inician con pronósticos que se utilizan para elaborar el programa de producción maestro para crear programas para los proveedores con tipos de partes, cantidades y fechas de entrega. Los sistemas de tirón requieren información sobre la demanda real que debe transmitirse extremadamente rápido por toda la cadena, de modo que la producción y distribución de los productos puedan reflejar con precisión la demanda real.

COORDINACIÓN Y COMPARTIMIENTO DE LA INFORMACIÓN La coordinación de la cadena de suministro ocurre cuando todas las etapas de una cadena de suministro trabajan en busca del mismo objetivo de maximizar la rentabilidad total de la cadena de suministro con base en la información compartida. La falta de coordinación puede originar una pérdida significativa del superávit de la cadena de suministro. La coordinación entre las diferentes etapas en una cadena de suministro requiere que cada una comparta información apropiada con las demás; por ejemplo, si un proveedor debe producir las partes correctas de manera oportuna para un fabricante en un sistema de tirón, el fabricante debe compartir información sobre la demanda y

producción con el proveedor. El compartimiento de información es, por consiguiente, crucial para el éxito de una cadena de suministro.

PLANEACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES La planeación de ventas y operaciones (S&OP, Sales and Operations Planning) es el proceso de crear un plan global de suministro (producción e inventarios) para satisfacer el nivel anticipado de la demanda (ventas). El proceso S&OP inicia cuando ventas y comercialización comunican sus necesidades a la cadena de suministro, la cual a su vez informa a ventas y comercialización si las necesidades pueden ser satisfechas y a qué costo. El objetivo de la planeación de ventas y operaciones es elaborar un plan acordado de ventas, producción e inventario que pueda utilizarse para planear las necesidades de la cadena de suministro y proyectar los ingresos y utilidades. El plan de ventas y operaciones llega a ser una pieza crítica de información que debe compartirse a través de la cadena de suministro porque afecta tanto la demanda sobre los proveedores de una empresa como la oferta a sus clientes.

HABILITACIÓN DE TECNOLOGÍAS Existen muchas tecnologías para compartir y analizar información en la cadena de suministro. Los gerentes deben decidir qué tecnologías utilizar y cómo integrarlas a su cadena de suministro. Algunas de estas tecnologías incluyen las siguientes:

1. El intercambio electrónico de datos (EDI, *Electronic Data Interchange*) se desarrolló en la década de 1970 para facilitar la colocación instantánea de pedidos de compra sin papeleo con los proveedores. Su naturaleza patentada, sin embargo, requería una inversión inicial significativa y a menudo alguna traducción entre las partes que estaban en comunicación. Realizaba transacciones más rápidas y más precisas que cuando se hacían por medio de documentos.

2. Con respecto al intercambio electrónico de datos, la Internet transfiere mucha más información utilizando una infraestructura estándar que permite a las cadenas de suministro mejorar tanto la eficiencia como la capacidad de respuesta. El inicio del siglo XXI ha atestiguado la evolución de la Internet hasta convertirse en el medio de comunicación dominante a través de todos los procesos macro (CRM, ISCM y SRM analizados en el capítulo 1) que vinculan la cadena de suministro desde los proveedores hasta los clientes.

3. Los sistemas de planeación de los recursos de una empresa (ERP, *Enterprise Resource Planning*) permiten el seguimiento transaccional y la visibilidad global de la información desde dentro de una compañía y a lo largo de su cadena de suministro. Esta información en tiempo real permite a la cadena mejorar la calidad de sus decisiones de operación. Estos sistemas rastrean la información, en tanto que la Internet proporciona un método para visualizarla. En el capítulo 17 se presenta un análisis más detallado de los sistemas ERP.

4. El software de administración de la cadena de suministro (SCM, *Supply Chain Management*) utiliza la información en sistemas ERP para apoyar las decisiones analíticas y para visualizar la información. Los sistemas ERP muestran lo que está pasando en una compañía, mientras que los sistemas SCM la ayudan a decidir lo que debe hacer. En el capítulo 17 se explican más detalladamente los sistemas SCM.

5. La identificación por medio de radiofrecuencia (RFD, *Radio Frecuency Identification*) consiste en una etiqueta de radiofrecuencia activa o pasiva aplicada al artículo que se está rastreando y un lector/emisor de radiofrecuencia. Una etiqueta pasiva extrae energía del lector, mientras que una señal activa dispone de su propia batería y extrae energía de ella. El sistema de identificación por medio de radiofrecuencia tiene muchos usos potenciales. Puede usarse en la fabricación para verificar la disponibilidad de toda la lista de materiales. La tecnología agiliza y abarata la recepción de un camión. La implementación completa del sistema RFID podría eliminar la necesidad de conteo manual y la lectura del código de barras en el andén de recepción. También puede utilizarse para contar con exactitud los artículos entrantes y los artículos almacenados. La tecnología RFID, sin embargo, aún no alcanza 100% de precisión, y su costo por unidad sigue siendo alto, lo que dificulta su aceptación global, incluso a nivel de cajas.

MÉTRICAS RELACIONADAS CON LA INFORMACIÓN Un gerente debe dar seguimiento a las métricas relacionadas con la información que afectan el desempeño de la cadena de suministro, y las cuales se enuncian a continuación.

- ***Horizonte de pronóstico*** identifica la anticipación con que se pronostica un evento real. El horizonte de pronóstico debe ser mayor que o igual al tiempo de espera de la decisión impulsada por el pronóstico.

- ***Frecuencia de actualización*** identifica con qué frecuencia se actualiza cada pronóstico. Éste debe actualizarse con más frecuencia que una decisión, de modo que se puedan detectar los grandes cambios y tomar una acción correctiva.
- ***Error de pronóstico*** mide la diferencia entre el pronóstico y la demanda real. Es inclusive una medida de la incertidumbre y origina todas las respuestas ante la incertidumbre, como el inventario de seguridad o la capacidad excedente.
- ***Factores estacionales*** miden el grado al cual la demanda promedio en una temporada está por encima o debajo del promedio en el año.
- ***Varianza del plan*** identifica la diferencia entre los inventarios o producción planeados y los valores reales. Estas varianzas pueden usarse para identificar y señalizar faltantes y sobrantes.
- ***Razón de la variabilidad de la demanda a la variabilidad del pedido*** mide la desviación estándar de la demanda entrante y los pedidos colocados. Una relación menor que uno indica potencialmente la existencia del efecto de látigo, el cual se analiza en el capítulo 10.

COMPROMISO TOTAL: COMPLEJIDAD FRENTE A VALOR Una buena información ayuda a una empresa a mejorar tanto su eficiencia como su capacidad de respuesta. Existe un peligro, sin embargo, al suponer que es mejor tener más información. A medida que se comparte más información a través de una cadena de suministro, la complejidad y el costo tanto de la infraestructura como del análisis de seguimientos requeridos crecen exponencialmente. El valor marginal provisto por la información compartida, sin embargo, disminuye conforme hay más y más información disponible, de modo que es importante evaluar la información mínima requerida para alcanzar los objetivos deseados. Por ejemplo, a menudo suele ser suficiente si las ventas agregadas se comparten entre un detallista y un fabricante, en lugar de datos detallados del punto de venta. La información agregada es más barata de compartir y proporciona la mayor parte del valor con respecto a una mejor planeación de la producción. Es importante considerar el compromiso entre complejidad y valor cuando se vaya a establecer la infraestructura de información.

3.8 APROVISIONAMIENTO

En esta sección analizamos el rol del aprovisionamiento en la cadena de suministro y las decisiones clave relacionadas con el aprovisionamiento que deben tomar los gerentes.

Rol en la cadena de suministro

El *aprovisionamiento* es el conjunto de procesos de negocios requerido para adquirir productos y servicios. Los gerentes deben decidir primero si cada tarea será realizada por una fuente con capacidad de respuesta o eficiente, y luego si la fuente será interna o externa. El aprovisionamiento proveniente de países de costos bajos permite a una compañía como IKEA ofrecer los módulos básicos de los muebles que vende a bajo costo. El aprovisionamiento proveniente de China de sus computadoras que se venden en Walmart ha permitido a Dell reducir su costo, en tanto que continúa produciendo en casa las máquinas que requieren capacidad de respuesta. A medida que las cadenas de suministro se han globalizado, muchas más opciones de aprovisionamiento ofrecen ahora tanto una considerable oportunidad como riesgos potenciales. Por consiguiente, las decisiones relacionadas con el aprovisionamiento tienen un impacto significativo en el desempeño de la cadena de suministro.

Rol en la estrategia competitiva

Las decisiones de aprovisionamiento son cruciales porque afectan el nivel de la eficiencia y la capacidad de respuesta que la cadena de suministro puede lograr. En algunos casos las empresas subcontratan a terceros con capacidad de respuesta si les resulta demasiado caro desarrollar su propia capacidad de respuesta. Un ejemplo es la subcontratación que realizan todas las compañías a empresas de mensajería para entrega de paquetes al día siguiente, porque para una empresa es demasiado caro desarrollar esta capacidad por su cuenta. En otros casos las empresas han conservado el proceso de capacidad de respuesta en casa para mantener el control. Un ejemplo es Zara, la cual mantiene su capacidad de respuesta en casa para atender con prontitud

los pedidos en cuanto llegan. Las empresas también subcontratan por motivos de eficiencia si el tercero puede lograr economías de escala significativas o dispone de una estructura de bajos costos subyacente por otras razones. El siguiente ejemplo ilustra la forma en que Cisco se ha aprovisionado apropiadamente para ser eficiente con productos baratos, y sensible a responder con productos caros.

EJEMPLO 3-6 Cisco

Cisco ha subcontratado casi toda su fabricación. Sin embargo, cuenta con una estrategia de aprovisionamiento que varía según el tipo de producto. En el caso de productos baratos como ruteadores para redes domésticas Cisco busca eficiencia. Estos ruteadores se producen y empacan en China y se envían en grandes cantidades para su venta en Estados Unidos. Cisco busca la ubicación de fabricación de menor costo y economías de escala en el transporte porque el segmento del mercado objetivo valora el costo bajo. En el caso de productos caros, por el contrario, Cisco subcontrata a fabricantes en Estados Unidos. Estos fabricantes no son de costos bajos, pero tienen capacidad de respuesta y son capaces de atender las necesidades de rápida evolución del mercado caro.

Componentes de las decisiones de aprovisionamiento

A continuación consideramos las decisiones de aprovisionamiento clave que se toman dentro de una empresa.

TAREA REALIZADA EN CASA O SUBCONTRATADA La decisión de aprovisionamiento más significativa para una empresa es si una tarea se realiza en casa o se subcontrata a un tercero. En una tarea como el transporte, los gerentes deben decidir si se subcontrata todo, o sólo el componente relacionado con la capacidad de respuesta, o bien si se subcontrata sólo el componente relacionado con la eficiencia. Esta decisión debe ser motivada en parte por su impacto en el superávit total de la cadena de suministro. Es mejor subcontratar si el incremento del superávit total de la cadena de suministro es significativo con poco riesgo adicional.

SELECCIÓN DEL PROVEEDOR Los gerentes deben decidir acerca del número de proveedores que tendrán para una actividad particular. Deben identificar entonces los criterios conforme a los cuales se evaluará a los proveedores y cómo se seleccionarán. Para el proceso de selección deben decidir si negociarán directamente o recurrirán a una licitación; si éste fuera el caso, debe estructurarse para garantizar el resultado deseado.

ADQUISICIÓN La adquisición es el proceso de obtener productos y servicios dentro de una cadena de suministro. Los gerentes deben estructurarla con el objetivo de incrementar el superávit de la cadena de suministro. Por ejemplo, una empresa debe estructurar la adquisición de materiales directos para garantizar una buena coordinación entre el proveedor y el comprador. En contraste, la adquisición de productos MRO debe estructurarse para garantizar que los costos de transacción sean bajos.

MÉTRICAS RELACIONADAS CON EL APROVISIONAMIENTO Las decisiones de aprovisionamiento impactan directamente el costo de los productos vendidos y las cuentas por pagar. El desempeño de la fuente también impacta la calidad, los inventarios y los costos del transporte entrante. Un gerente debe dar seguimiento a las métricas relacionadas con el aprovisionamiento que afectan el desempeño de la cadena de suministro, las cuales se enuncian a continuación.

- ***Días pendientes por pagar*** mide los días desde que el proveedor realiza una tarea de la cadena de suministro y hasta cuando recibe su pago.
- ***Precio de compra promedio*** mide el precio promedio al cual se compró un producto o servicio durante el año. El precio promedio debe ser ponderado por la cantidad comprada a cada precio.
- ***Rango del precio de compra*** mide la fluctuación del precio de compra durante un periodo específico. El objetivo es identificar si la cantidad comprada se correlacionó con el precio.

- ***Cantidad de compra promedio*** mide la cantidad promedio de compra por pedido. El objetivo es identificar si ocurre un nivel suficiente de agregación a través de las ubicaciones cuando se coloca un pedido.
- ***Calidad del suministro*** mide la calidad del producto suministrado.
- ***Tiempo de espera del suministro*** mide el tiempo promedio entre la colocación del pedido y la llegada del producto. Los tiempos de espera largos reducen la capacidad de respuesta e incrementan el inventario que la cadena de suministro debe mantener.
- ***Fracción de las entregas a tiempo*** mide la fracción de las entregas del proveedor que llegaron con puntualidad.
- ***Fiabilidad del proveedor*** mide la variabilidad del tiempo de espera del proveedor así como la cantidad entregada con respecto al plan. Una fiabilidad deficiente del proveedor perjudica la capacidad de respuesta e incrementa la cantidad de inventario que la cadena de suministro debe mantener.

COMPROMISO TOTAL: INCREMENTO DEL SUPERÁVIT DE LA CADENA DE SUMINISTRO Las decisiones de aprovisionamiento deben tomarse para incrementar el superávit total que se compartirá a través de la cadena de suministro. El superávit total se ve afectado por el impacto del aprovisionamiento en las ventas, el servicio, los costos de producción, de inventario, de transporte, y los de la información. La subcontratación de un tercero tiene sentido si éste incrementa el superávit de la cadena de suministro más de lo que puede hacerlo la empresa por sí sola. En contraste, una empresa debe conservar una función de la cadena de suministro en casa si el tercero no puede incrementar el superávit de la cadena de suministro, o si el riesgo asociado con la subcontratación es significativo.

3.9 FIJACIÓN DE PRECIOS

En esta sección analizamos el rol de la fijación de precios en la cadena de suministro.

Rol en la cadena de suministro

La fijación de precios es el proceso mediante el cual una empresa decide cuánto cobrar a los clientes por sus productos y servicios. La fijación de precios afecta los segmentos de clientes que deciden comprar el producto, así como las expectativas del cliente. Esto afecta de manera directa a la cadena de suministro en términos del nivel de capacidad de respuesta requerida y al perfil de la demanda que la cadena de suministro intenta satisfacer. La fijación de precios también es una palanca que sirve para igualar la oferta y la demanda, sobre todo cuando la cadena de suministro no es muy flexible. Los descuentos en el corto plazo pueden utilizarse para eliminar las ofertas excedentes y los incrementos repentinos de la demanda estacional, al mover parte de la demanda hacia delante. En suma, la fijación de precios es uno de los factores más significativos que afectan el nivel y tipo de demanda que enfrentará la cadena de suministro.

Rol en la estrategia competitiva

La fijación de precios es un atributo significativo mediante el cual una empresa lleva a cabo su estrategia competitiva. Por ejemplo, Costco, un mayorista basado en membrecías en Estados Unidos, practica una política de mantener los precios estables pero bajos. Los clientes esperan precios bajos pero se sienten cómodos con un menor nivel de disponibilidad del producto. Los precios estables también garantizan que la demanda permanezca relativamente estable. Costco atiende a un segmento bien definido y, por consiguiente, puede diseñar una cadena de suministro apropiada. La cadena de suministro de Costco busca ser eficiente a expensas de alguna capacidad de respuesta. Por el contrario, algunas empresas de fabricación y transporte utilizan una fijación de precios que varía con el tiempo de respuesta deseado por el cliente. Con su fijación de precios, estas empresas tratan de captar un segmento más amplio de clientes, algunos de los cuales necesitan capacidad de respuesta en tanto que otros requieren eficiencia, por lo que llega a ser importante que estas empresas estructuren una cadena de suministro que pueda satisfacer las dos necesidades divergentes. Amazon utiliza un menú de opciones de transporte y precios para identificar a los clientes que valoran la capacidad de respuesta y a quienes valoran el costo bajo. Esta identificación permite a la empresa satisfacerlos con eficacia, como se muestra en el siguiente ejemplo.

EJEMPLO 3-7 Amazon.com

Amazon ofrece a sus clientes un menú muy completo de precios de los productos que vende. En julio 2008, por ejemplo, una persona que compraba dos libros con valor de $30.00 podía utilizar el envío estándar (envíos en 3-5 días hábiles) a un costo de $4.98; el envío en un día (envíos en 1 día hábil) a un costo de $22.97, o bien el envío gratuito (envíos en 7-14 días hábiles). El menú de fijación de precios permite a Amazon atraer clientes con niveles variables de capacidad de respuesta deseada. En tanto que los clientes que pagan el envío en un día imponen un alto grado de incertidumbre en Amazon, los clientes que optan por el envío gratuito pueden usarse para nivelar la carga de trabajo con el tiempo extra en el almacén. Amazon, por tanto, puede usar su fijación de precios para ofrecer capacidad de respuesta a quienes la valoran, mientras que utiliza a los clientes que desean un precio bajo como ayuda para mejorar su eficiencia.

Componentes de las decisiones de fijación de precios

A continuación describimos los componentes clave de las decisiones de fijación de precios que afectan el desempeño de la cadena de suministro.

FIJACIÓN DE PRECIOS Y ECONOMÍAS DE ESCALA La mayoría de las actividades de la cadena de suministro muestran economías de escala. Los cambios encarecen más las corridas de producción pequeñas por unidad que las grandes. Los costos de carga y descarga hacen que sea más barato entregar un camión completo en un lugar que cuatro. En cada caso, el proveedor de la actividad de la cadena de suministro debe decidir cómo fijar correctamente el precio para reflejar estas economías de escala. Un método de uso común es ofrecer descuentos por cantidad, asegurándose de que este tipo de descuentos ofrecidos sean consistentes con las economías de escala en el proceso subyacente. De lo contrario, existe el peligro de que la motivación principal de los pedidos de los clientes sea los descuentos por cantidad, aun cuando el proceso subyacente no incluya economías de escala significativas.

PRECIOS BAJOS TODOS LOS DÍAS FRENTE A PRECIOS ALTOS Y BAJOS Una empresa como Costco realiza la práctica de precios bajos todos los días en sus tiendas almacén, lo que mantiene los precios estables. Costco llegará al grado de no ofrecer descuento alguno en libros dañados para garantizar su estrategia de precios bajos todos los días. En contraste, la mayoría de los supermercados realiza la práctica de precios altos y bajos, y cada semana ofrecen grandes descuentos en un subconjunto de sus productos. La estrategia de fijación de precios de Costco produce una demanda relativamente estable. La estrategia de precios altos y bajos produce un nivel máximo durante la semana de descuentos, seguido a menudo por una caída pronunciada de la demanda durante las siguientes semanas. Las dos estrategias de fijación de precios conducen a diferentes perfiles de demanda que la cadena de suministro debe satisfacer.

PRECIOS FIJOS FRENTE A MENÚ DE PRECIOS Una empresa debe decidir si cobrará un precio fijo por las actividades de la cadena de suministro o contará con un menú de precios que varíen con algún otro atributo, como el tiempo de respuesta o el lugar de entrega. Si los costos marginales de la cadena de suministro o valor para el cliente varían significativamente a lo largo de algún atributo, a veces es conveniente tener un menú de precios. Ya hemos analizado a Amazon como ejemplo de una empresa que ofrece un menú que es un tanto consistente con el costo de proporcionar el servicio particular de la cadena de suministro. Un ejemplo de cuando el menú de precios es algo inconsistente se aprecia en muchos proveedores MRO. Con frecuencia permiten que los clientes elijan entre recibir su pedido en su domicilio o recogerlo en persona. Un cliente paga una cuota adicional por la entrega a domicilio, pero no paga por recogerlo en persona. Sin embargo, el costo de selección, empaque y entrega en el almacén es más alto en el caso de recolección personal, comparado con la entrega a domicilio. Por tanto, la política de fijación de precios puede hacer que el comportamiento del cliente tenga un impacto negativo en las utilidades.

MÉTRICAS RELACIONADAS CON LA FIJACIÓN DE PRECIOS La fijación de precios afecta directamente los ingresos pero también puede afectar los costos de producción y los inventarios, dependiendo de su impacto en la demanda del consumidor. Un gerente debe dar seguimiento a las métricas relacionadas con la fijación de precios. Con un menú de fijación de precios, cada métrica debe ser rastreada por separado por cada segmento en el menú.

- ***Margen de utilidad*** mide la utilidad como porcentaje de los ingresos. Una empresa debe examinar una amplia variedad de métricas de margen de utilidad para optimizar su fijación de precios, incluyendo dimensiones como tipo de margen (bruto, neto, etc.), alcance (SKU, línea de productos, división, empresa), tipo de cliente y otros.
- ***Días de ventas pendientes*** miden el tiempo promedio que transcurre entre la venta y el cobro.
- ***Costo fijo incremental por pedido*** mide los costos incrementales que son independientes del tamaño del pedido. Éstos incluyen los costos por cambios en una planta manufacturera, los costos de procesamiento o de transporte incurridos, independientemente del tamaño del envío en una empresa de ventas por correo.
- ***Costo incremental variable por unidad*** mide los costos incrementales que varían con el tamaño del pedido. Éstos incluyen los costos de selección en una empresa de ventas por correo, o costos de producción variables en una planta manufacturera.
- ***Precio de venta promedio*** mide el precio promedio al cual se realizó una actividad de la cadena de suministro en un periodo dado. El promedio se obtiene ponderando el precio con la cantidad vendida a ese precio.
- ***Tamaño promedio del pedido*** mide la cantidad promedio por pedido. El precio de venta promedio, el tamaño del pedido, el costo fijo incremental por pedido, y el costo variable incremental por unidad, ayudan a estimar la contribución por realizar la actividad de la cadena de suministro.
- ***Rango del precio de venta*** mide el precio de venta máximo y mínimo por unidad durante un horizonte de tiempo especificado.
- ***Rango de ventas periódicas*** mide la cantidad máxima y mínima vendida por periodo (día/semana/mes) durante un horizonte de tiempo específico. El objetivo es entender cualquier correlación entre las ventas y el precio, y cualquier oportunidad potencial de cambiar las ventas si se cambia el precio con el tiempo.

COMPROMISO TOTAL: INCREMENTAR LAS UTILIDADES DE LA EMPRESA Todas las decisiones de fijación de precios deben tomarse con el objetivo de incrementar las utilidades de la empresa. Esto precisa entender la estructura de costos de realizar una activad de la cadena de suministro y el valor que esta actividad aporta a la cadena. Estrategias como la de precios bajos todos los días pueden alentar la demanda estable que permite la eficiencia en la cadena de suministro. Otras estrategias de fijación de precios pueden reducir los costos de la cadena de suministro, defender el segmento del mercado o incluso compartirlo. La fijación de precios diferencial se puede usar para atraer clientes con necesidades variables en cuanto esta estrategia ayude a incrementar los ingresos o a reducir los costos, de preferencia ambos.

3.10 RESUMEN

1. *Describir las medidas financieras clave del desempeño de una empresa.* Las medidas financieras clave del desempeño de una empresa incluyen el rendimiento sobre el capital, el rendimiento sobre los activos, la rotación de las cuentas por pagar, el margen de utilidad, la rotación de los activos, la rotación de las cuentas por cobrar, las rotaciones del inventario la propiedad y el equipo, y el ciclo efectivo a efectivo.

2. *Identificar los controladores más importantes del desempeño de una cadena de suministro.* Los principales controladores del desempeño de la cadena de suministro son las instalaciones, el inventario, el transporte, la información, el aprovisionamiento, y la fijación de precios.

3. *Entender el rol de cada controlador al crear el ajuste estratégico entre la estrategia de la cadena de suministro y la estrategia competitiva.* Una compañía que logra el ajuste estratégico ha encontrado el equilibrio correcto entre capacidad de respuesta y eficiencia. Cada controlador afecta este equilibrio. En general, tener más instalaciones incrementa la capacidad de respuesta de una cadena, aunque el tener menos instalaciones centrales incrementa la eficiencia. Mantener altos niveles de inventario incrementa la capacidad de respuesta de una cadena, en tanto que mantener un inventario bajo incrementa su eficiencia. El empleo de modos de transporte rápidos incrementa la capacidad de respuesta de una cadena, pero en general utilizar modos más lentos incrementa la eficiencia. La inversión en información puede mejorar en gran medida el desempeño de la cadena de suministro en ambas dimensiones. Esta inversión, sin embargo, debe hacerse con base en la posición estratégica apoyada por los demás controladores. Las decisiones de aprovisionamiento apropiadas incrementan las utilidades de la cadena de suministro al asignar funciones de ésta a la parte correcta, lo que produce altas economías de escala o un alto nivel de agregación de la incertidumbre.

La fijación de precios se puede utilizar para captar el segmento de clientes apropiado, y la fijación de precios diferencial para atraer clientes que valoran la capacidad de respuesta, e inclusive a los clientes que desean eficiencia. La cadena de suministro puede estructurarse para que ofrezca capacidad de respuesta a algunos clientes al mismo tiempo que mejora la eficiencia total.

4. ***Definir las métricas clave que den seguimiento al desempeño de la cadena de suministro en términos de cada controlador.*** Las métricas relacionadas con la instalación son la capacidad, la utilización, el tiempo de flujo/ciclo de producción teórico, el tiempo de flujo/ciclo real, la eficiencia del tiempo de flujo, la variedad del producto, la contribución del volumen de 20% superior de unidades de control de existencias/clientes, el tiempo de procesamiento/preparación/descompostura/ocioso, y el tamaño del lote de producción promedio. Las métricas relacionadas con el inventario son el inventario promedio, los productos con más de un número específico de días de inventario, el tamaño del lote de reabastecimiento promedio, el inventario de seguridad promedio, el inventario estacional, la tasa de surtido y la fracción de tiempo fuera de existencia. Las métricas relacionadas con el transporte son el costo del transporte de entrada promedio, el tamaño del envío de entrada promedio, el costo de transporte de entrada promedio por envío, el costo de transporte de salida promedio, el tamaño del envío de salida promedio, el costo de transporte de salida promedio por envío, y la fracción transportada por modo. Las métricas relacionadas con la información son el horizonte de pronóstico, el error de pronóstico, los factores estacionales, la varianza del plan, y la razón de la variabilidad de la demanda a la variabilidad del pedido. Las métricas relacionadas con el aprovisionamiento son los días por pagar pendientes, el precio de compra promedio, el rango del precio de compra, la cantidad comprada promedio, la fracción de las entregas a tiempo, la calidad del suministro, y el tiempo de espera del suministro. Las métricas relacionadas con la fijación de precios son el margen de utilidad, los días de ventas pendientes, el costo fijo incremental por pedido, el costo variable incremental por unidad, el precio de venta promedio, el tamaño promedio del pedido, el rango del precio de venta, y el rango de las ventas periódicas. Cada una de estas métricas impacta directa o indirectamente las métricas financieras y la capacidad de responder a los clientes.

Preguntas para debate

1. ¿Cómo podría un minorista abarrotero utilizar el inventario para incrementar la capacidad de respuesta de la cadena de suministro de la empresa?
2. ¿Cómo podría un fabricante de automóviles utilizar el transporte para incrementar la eficiencia de su cadena de suministro?
3. ¿Cómo podría un fabricante de bicicletas incrementar su capacidad de respuesta por medio de sus instalaciones?
4. ¿Cómo podría un distribuidor de suministros industriales utilizar la información para incrementar su capacidad de respuesta?
5. Motorola ha pasado de fabricar todos sus teléfonos celulares internamente a casi subcontratar por completo la fabricación. ¿Cuáles son los pros y los contras de los dos enfoques?
6. ¿Cómo puede una empresa de entrega a domicilio como Peapod fijar los precios de sus servicios de entrega para mejorar su rentabilidad?
7. ¿Cuáles son algunas industrias en las que han proliferado los productos y los ciclos de vida se han acortado? ¿Cómo se tienen que adaptar las cadenas de suministro en estas industrias?
8. ¿Cómo se puede usar todo el conjunto de controladores logísticos e interfuncionales, para crear el ajuste estratégico para un fabricante de computadoras personales que desea captar tanto clientes sensibles al tiempo como clientes conscientes del precio?
9. ¿En qué controladores de la cadena de suministro debe enfocarse una empresa que está tratando de reducir su ciclo de efectivo a efectivo?
10. ¿Esperaría que un minorista tradicional o un minorista de ventas en línea tuviera una rotación de activos más alta? ¿Cuáles controladores de la cadena de suministro impactan la rotación de activos?

Bibliografía

Doheny, Mike, Karl-Hendrik Magnus, Paulo Marchesan, Brian Ruwadi, Chris Turner, y Nursen Ulker. (Diciembre 17, 2010). Driving Productivity in the Apparel Supply Chain. Disponible en https://operations-extranet.mckinsey.conV/html/knowledge/article/20101213_apparel_supply_chain.asp

Dyckman, Thomas R., Robert P. Magee, y Glenn M. Pfeiffer. (2011). *Financial Accounting.* Westmont, IL: Cambridge Business Publishers.

Hofman, Debra. (Septiembre 2004). The Hierarchy of Supply Chain Metrics. *Supply Chain Management Review*, pp. 28-37.

Marien, Edward J. (Marzo-abril 2000). The Four Supply Chain Enablers. *Supply Chain Management Review*, pp. 60-68.

O'Marah, Kevin. (Septiembre 2007). The Top Twenty Five Supply Chains. *Supply Chain Management Review*, pp. 16-22.

Presutti, William D., Jr., y John R. Mawhinney. (Septiembre 2007). The Supply Chain—Finance Link. *Supply Chain Management Review*, pp. 32-38.

Slone, Reuben E., J. Paul Dittman, y John T. Mentzer. (2010). *The New Supply Chain Agenda: The Five Steps that Drive Real Value.* Boston: Harvard Business Press.

Estudio de caso

Seven-Eleven Japan Co.

Establecida por Ito Yokado en 1973, Seven-Eleven Japan asentó su primera tienda en Koto-ku, Tokio, en mayo de 1974. La compañía comenzó a cotizar en la Bolsa de Valores de Tokio en octubre de 1979. El 1 de septiembre de 2005, Seven & i Holdings Co. Ltd. se estableció como la compañía controlante de Seven-Eleven Japan, Ito-Yokado y Denny's Japan. En consecuencia, los resultados financieros detallados de Seven-Eleven Japan no han estado disponibles desde entonces y se reportan sólo como la parte de la tienda de conveniencia de Seven & i Holdings. Seven-Eleven Japan experimentó un crecimiento asombroso entre 1985 y 2009. Durante ese periodo el número de tiendas se incrementó de 1985 a 12,753, y las ventas anuales aumentaron de 386,000 millones a 2.78 billones de yenes en Japón. Globalmente, la empresa tenía más de 40,000 tiendas de conveniencia en 2011 y era la cadena más grande del mundo en términos de tiendas minoristas. Los ingresos globales de Seven & i derivados de las operaciones de las tiendas de conveniencia ascendieron a 1 millón 968,000 millones en 2009, con ingresos de operación de 183,800 millones de yenes. La empresa estaba presente en 38 de las 47 prefecturas de Japón, y abrió 966 tiendas en Japón al mismo tiempo que cerraba 511 en 2009. Las visitas de los clientes a las tiendas Seven-Eleven totalizaron 4,100 millones en 2007, con un promedio de 35 visitas a Seven-Eleven al año por persona en Japón.

Tabla 3-2 Tiendas y ventas anuales de Seven-Eleven Japan

Año	Número de tiendas	Ventas anuales (miles de millones de yenes)
1974	15	0.7
1979	801	109.8
1984	2,299	386.7
1989	3,954	780.3
1994	5,905	1,392.3
1999	8,153	1,963.9
2000	8,602	2,046.6
2001	9,060	2,114.0
2002	9,690	2,213.2
2003	10,303	2,343.2
2004	10,826	2,440.8
2005	11,310	2,498.7
2006	11,735	2,533.5
2007	12,034	2,574.3
2008	12,298	2,762.5
2009	12,753	2,784.9

Historia y perfil de la empresa

Tanto Ito-Yokado como Seven-Eleven Japan fueron fundadas por Masatoshi Ito. Inició su imperio de tiendas minoristas después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se unió a su madre y a su hermano mayor y comenzó a trabajar en una pequeña tienda de ropa en Tokio. Para 1960 ya tenía el control absoluto, y la tienda se había convertido en una empresa de 3 millones de dólares. Después de un viaje a Estados Unidos en 1961 Ito se convenció de que los supermercados eran la onda del futuro. En esa época en Japón dominaban las tiendas de la esquina. La cadena de supermercados de Ito en el área de Tokio fueron instantáneamente populares y pronto constituyeron el núcleo de las operaciones minoristas de Ito-Yokado.

En 1972 Ito se acercó por primera vez a Southland Corporation para tratar la posibilidad de abrir tiendas de conveniencia Seven-Eleven en Japón. Después de rechazar su petición inicial, Southland accedió en 1973 a firmar un contrato de licencia y, a cambio de 0.6% de las ventas totales, le cedió a Ito derechos exclusivos en todo Japón. En mayo de 1974 se abrió la primera tienda de conveniencia Seven-Eleven en Tokio.

Este nuevo concepto fue un éxito inmediato en Japón y Seven-Eleven Japan experimentó un tremendo crecimiento. En 1979 ya había 591 tiendas Seven-Eleven en Japón, y para 1984 había 2,001. El rápido crecimiento continuó (tabla 3-2), lo que dio por resultado que en 2009 hubiera 12,753 tiendas.

El 24 de octubre de 1990 Southland Corporation se acogió al capítulo de quiebra y recurrió a Ito-Yokado en busca de ayuda; el 5 de marzo de 1991 IYG Holding se formó por Seven-Eleven (48%) e Ito-Yokado (52%). IYG adquirió 70% de las acciones de Southland por $430 millones.

En 2005 Seven & i Holdings se estableció mediante una transferencia de acciones con la participación de Seven-Eleven Japan, Ito-Yokado y Denny's Japan. En 2009, las operaciones de las tiendas de conveniencia de Seven-Eleven Japan y otras subsidiarias en Norte América y China contribuyeron con 38.3% de los ingresos totales derivados de las operaciones y con 80.9% de los ingresos de operación de la Seven & i Holdings Company (vea detalles en la tabla 3-3). El desempeño relativo de

Tabla 3-3 Cifras financieras de Seven & i (2008-2010)

Para los ejercicios fiscales que finalizaron el 28/29 de febrero	2008	2009	2010
Ingresos totales (miles de millones de yenes)	5,752.4	5,649.9	5,111.0
Ingreso de operación total (miles de millones de yenes)	281.9	281.9	226.7
Ingresos de las tiendas de conveniencia (miles de millones de yenes)	2,395.7	2,308.7	1,968.6
Ingreso de operación de las tiendas de conveniencia (miles de millones de yenes)	201.0	213.4	183.8

las tiendas de conveniencia dentro de las operaciones japonesas fue incluso más dominante. La caída del desempeño financiero en 2009 con respecto a 2008 se atribuyó en gran medida a la caída de los precios de la gasolina en Norte América y a la mayor fortaleza del yen. La discrepancia entre las tablas 3-2 y 3-3 es porque la tabla 3-2 reporta ventas (tanto de tiendas propiedad de la empresa como de las tiendas franquiciadas), mientras que la tabla 3-3 reporta ingresos de sólo Seven & i.

La industria de las tiendas de conveniencia y Seven-Eleven Japan

El sector de las tiendas de conveniencia fue una de las áreas de negocios que continuó creciendo durante la prolongada recesión en Japón a finales del siglo XX y principios del XXI. De 1991 a 2002, el número de tiendas de conveniencia en Japón se incrementó de 19,603 a casi 42,000. Como porcentaje de todas las tiendas minoristas en Japón, esto representa un incremento de 1.2% a 3.2%. Durante ese periodo las ventas anuales en las tiendas de conveniencia se incrementaron más del doble: de 3 billones a 6.7 billones de yenes. Como porcentaje de las ventas al menudeo en Japón, esto representó un incremento de 2.2% a 5.0%.

El sector de tiendas de conveniencia de Japón se consolidó gradualmente, con grandes protagonistas que crecían y pequeños operadores que cerraban. En 2004 las 10 cadenas de tiendas de conveniencia principales representaban cerca de 90% de las tiendas de conveniencia de Japón. Conforme las cadenas mejoraron sus estructuras de operación y apalancaban mejor sus economías de escala, los operadores pequeños tuvieron dificultades para competir.

Seven-Eleven Japan había incrementado su participación del mercado de tiendas de conveniencia desde que abrió. En 2008 Seven-Eleven Japan era el operador líder de tiendas de conveniencia con 34.3% del segmento del mercado de tiendas de conveniencia. Seven-Eleven fue muy eficaz en términos de ventas de la misma tienda. En 2004 las ventas diarias promedio en las cuatro cadenas de tiendas de conveniencia más importantes totalizaron 484,000 yenes. Las tiendas Seven-Eleven, en contraste, tuvieron ventas diarias de 647,000 yenes —30% más altas que toda la competencia junta—. Para 2009 las ventas diarias en las tiendas Seven-Eleven Japan habían declinado un poco, a 616,000 yenes. En 2004 el ingreso de operación de Seven-Eleven de 165,700 millones de yenes lo posicionó como líder no sólo del sector de tiendas de conveniencia sino también de toda la industria minorista de Japón. En términos de crecimiento, su desempeño fue incluso más impresionante; en 2004 Seven-Eleven representaba 60% del ingreso neto total en el número de tiendas entre las 10 cadenas de tiendas de conveniencia más importantes en Japón. Este crecimiento había sido planeado con cuidado, al explotar las fortalezas fundamentales que Seven-Eleven Japan había desarrollado en las áreas de sistemas de información y de sistemas de distribución.

El sistema de franquicias de Seven-Eleven Japan

Seven-Elevan Japan desarrolló una extensa red de franquicias y desempeñó un rol clave en las operaciones de esta red. La red de Seven-Eleven Japan incluía tiendas propiedad de la compañía y tiendas como franquicias propiedad de terceros. En 2004 las comisiones por franquicias contabilizaban más de 68% de operaciones por ingresos. Para asegurar la eficiencia Seven-Eleven Japan basó la política de expansión de su red fundamental en una estrategia de dominio del mercado. La entrada a cualquier nuevo mercado se construyó en torno a un grupo de 50 a 60 tiendas apoyadas por un centro de distribución. Tal agrupamiento le dio a Seven-Eleven Japan una presencia de alta densidad en el mercado y le permitió operar un eficiente sistema de distribución. En su reporte anual de 1994, Seven-Eleven Japan incluyó las siguientes seis ventajas de la estrategia de dominio del mercado:

- Incrementó la eficiencia en la distrución
- Mejoró el conocimiento de las marcas
- Incrementó la eficiencia del sistema
- Mejoró la eficiencia de los servicios de apoyo a franquicias
- Mejoró la eficacia de la publicidad
- Impidió la entrada de competidores al área dominante

(*Continúa*)

(Continuación)

Apegándose a su estrategia dominante, Seven-Eleven Japan abrió la mayoría de sus nuevas tiendas en áreas con grupos existentes de tiendas. Por ejemplo, la prefectura de Aichi, donde Seven-Eleven Japan comenzó a abrir tiendas en 2002, experimentó un gran crecimiento en 2004 con 108 nuevas tiendas. Esto representó más de 15% de las nuevas tiendas Seven-Eleven abiertas en Japón ese año.

Seven-Eleven tenía una presencia geográfica limitada en 2009, pues la compañía contaba con tiendas en cerca de 80% (37 de 47) de las prefecturas dentro de Japón. Sin embargo, en prefecturas donde sí estaban las tiendas tendían a ser densas. En el informe anual de 2004 señaló, "Nuestra prioridad no es llenar todo el mapa de Japón. Más bien, buscamos la demanda donde ya existen tiendas Seven-Eleven, basados en una estrategia fundamental de dominio de área de concentrar tiendas en áreas específicas".

Como las franquicias Seven-Eleven llegaron a ser altamente codiciadas, menos de 1% de los solicitantes recibía una franquicia (un testamento de rentabilidad de la tienda). Se requería que el propietario de la franquicia aportara por adelantado una fuerte cantidad; la mitad se utilizaba para preparar el local y capacitar al propietario, y el resto se aplicaba en la compra de las existencias iniciales para la tienda. En 1994, 45% de las utilidades brutas totales de una tienda se iban a Seven-Eleven Japan y el resto al propietario de la tienda. Las resposabilidades de los dos partes eran las siguientes:

Responsabilidades de Seven-Eleven Japan

- Desarrollar el suministro y las mercancías
- Proporcionar el sistema de colocación de pedidos
- Pagar la operación del sistema
- Proporcionar servicios de contabilidad
- Proporcionar publicidad
- Instalar y remodelar las instalaciones
- Pagar 80% de los costos de los servicios públicos

Responsabilidades del propietario de la franquicia

- Operar y administrar la tienda
- Contratar y pagar al personal
- Colocar pedidos de mercancías
- Mantener la apariencia de la tienda
- Proporcionar servicios a los clientes

Información y contenido de las tiendas

En 2009 Seven-Eleven tenía 12,753 tiendas en Japón (vea la tabla 3-2). En 2004 Seven-Eleven Japan cambió el tamaño estándar de las tiendas nuevas de 125 m^2 a 150 m^2, aún significativamente más pequeñas que la mayoría de las tiendas 7-Eleven estadounidenses. En 2009 las ventas diarias en una tienda promediaban 613,000 yenes (cerca de $7,558 en marzo de 2011, a una tasa de cambio de cerca de 81 yenes por dólar), lo que era casi el doble del promedio en una tienda estadounidense.

Tabla 3-4 Ventas por categoría de productos en 2009

	Porcentaje de ventas totales (%)
Alimentos procesados	28.3
Comida rápida	27.0
Alimentos frescos del día	12.1
Productos no alimenticios	32.6

Seven-Eleven Japan ofrecía a sus tiendas la opción de elegir de entre un conjunto de 5,000 unidades de control de inventario (SKU). Cada tienda mantenía en promedio alrededor de 3,000 SKU, dependiendo de la demanda de los clientes locales. Seven-Eleven Japan destacaba las mercancías regionales para satisfacer con más precisión las preferencias locales. Cada tienda vendía productos alimenticios, bebidas, revistas y productos de consumo como jabones y detergentes. Las ventas relativas por categorías de productos en 2009 de Seven-Eleven Japan se muestran en la tabla 3-4.

Los productos alimenticios se clasificaban en cuatro categorías generales: 1. productos refrigerados, incluyendo emparedados, productos delicatesen y leche; 2. productos calientes, como cajas de almuerzos, bolas de arroz y pan fresco; 3. productos congelados: helados, alimentos congelados y cubos de hielo; 4. productos a temperatura ambiente, como alimentos enlatados, sopas instantáneas y sazonadores. Los alimentos procesados y las comidas rápidas fueron grandes vendedores para las tiendas. En 2009 los alimentos procesados y las comidas rápidas contribuyeron con cerca de 55% de las ventas totales en cada tienda. En 2004 se vendieron más de 1,000 millones de bolas de arroz; esta cantidad equivalía a que cada ciudadano japonés consumiera ocho bolas de arroz al año. Los productos que más se vendían en la categoría de comida rápida fueron las cajas de almuerzos, las bolas de arroz, los productos a base de pan y las pastas. Para 2004 Seven-Eleven Japan contaba con 290 plantas de manufactura dedicadas que sólo producían comidas rápidas para sus tiendas.

Otros productos de venta en Seven-Eleven incluían bebidas refrescantes, bebidas nutricionales, bebidas alcóholicas —cerveza y vinos—, software de juegos, discos compactos de música y revistas.

Seven-Eleven se enfocó en incrementar el número de productos originales que estuvieran disponibles sólo en sus tiendas. En 2004 los productos originales represen-

taban cerca de 52% de las ventas totales. En 2007 Seven & i lanzó los productos de marca privada Seven Premium para venderlos en sus tiendas. Para febrero de 2010 Seven Premium ofrecía 1035 SKU y se esperaba que su número creciera en el futuro. Los productos de marca privada se vendían en todos los formatos de tienda y la compañía los consideró como una parte importante de la expansión de sinergias a través de sus varios formatos de tienda minorista.

Servicios que ofrecen las tiendas

Además de productos, Seven-Eleven fue agregando gradualmente una variedad de servicios a los clientes en sus tiendas. El primer servicio, agregado en octubre de 1987, fue el pago de facturas de Tokyo Electric Power. Más adelante amplió la gama de facturas que podían pagar los clientes en las tiendas, incluyendo el gas, las primas de seguros y el teléfono. Con horarios y lugares de operación más convenientes que los bancos y otras instituciones financieras, el servicio de pago de facturas atraía millones de clientes adicionales cada año. En abril de 1994 Seven-Eleven empezó a aceptar pagos en abonos a nombre de compañías de crédito. En noviembre de 1994 comenzó a vender pases para el telesquí, y en 1995 ya aceptaba pagos de compras hechas por correo, lo cual se expandió para incluir en noviembre de 1999 el pago de compras realizadas por Internet. En agosto de 2000 se creó una compañía de servicio de entrega de comidas a domicilio, Seven-Meal Service Co, Ltd., para atender a la población japonesa de edad avanzada. Seven Bank se fundó como la compañía principal de operación para encargarse de los servicios financieros de Seven & i. Para 2009 prácticamente cada tienda Seven-Eleven Japan contaba con un ATM (cajero automático) instalado, y Seven Bank contaba con más de 14,000 cajeros automáticos. La compañía promediaba 114 transacciones por cajero por día.

Otros servicios ofrecidos en las tiendas incluían fotocopiado, ventas de boletos (para eventos deportivos, autobuses express y conciertos de música), además de fungir como un punto de recolección para empresas de mensajería que por lo general no dejan el paquete afuera si el cliente no está en casa. En 2010 las tiendas de conveniencia también comenzaron a ofrecer algunos servicios gubernamentales como proporcionar certificados de residencia. El impulso más importante para ofrecer estos servicios fue aprovechar las ubicaciones convenientes de las tiendas Seven-Eleven en Japón. Además de generar ingresos adicionales, los servicios también hacían que los clientes visitaran las tiendas con más frecuencia. Varios de estos servicios explotaron el Sistema de Información Total existente (vea el texto siguiente) en la tienda.

En febrero de 2000 Seven-Eleven Japan estableció 7dream.com, una compañía de comercio electrónico. El objetivo fue explotar el sistema de distribución existente y el hecho de que las tiendas eran fácilmente accesibles para la mayoría de los japoneses. Las tiendas servían como puntos de entrega y recolección para los clientes japoneses. Una encuesta realizada por eSBook (empresa conjunta entre Softbank, Seven-Eleven Japan, Yahoo!Japan y Tohan, un editor) reveló que 92% de sus clientes prefería recoger sus compras hechas en línea en la tienda de conveniencia local, en vez de solicitar el servicio a domicilio. Esto era comprensible dada la frecuencia con que los japoneses visitan su tienda de conveniencia local; 7dream esperaba incrementar esta preferencia junto con la participación activa y concertada del sistema de distribucion existente.

En marzo de 2007 Seven-Eleven Japan introdujo "Otoriyose-bin" o compras por Internet. El servicio permitió que los clientes compraran productos que no solían estar disponibles en las tiendas minoristas. Los clientes podían colocar pedidos en la Web con recolección y pago en las tiendas Seven-Eleven. Este servicio de envío era gratuito. La compañía construyó Seven Net Shopping, su sitio de Internet cuyo objetivo era combinar las tiendas en grupo y los servicios de Internet. En abril de 2007 se ofreció el servicio de dinero electrónico "nanaco" en las tiendas Seven-Eleven. El servicio facilitaba a los clientes prepagar y utilizar una tarjeta o el teléfono celular para realizar pagos. El servicio se ofreció como conveniencia para los clientes que hacían compras pequeñas y también como un sistema de recompensa que ofrecía un yen en puntos por cada 100 yenes gastados por el cliente. A finales de 2007 nanaco se había utilizado para realizar más de 30 millones de pagos cada mes.

Dada la población de edad avanzada y el incremento del número de mujeres que trabajan fuera de casa (Seven-Eleven estimó que en 2009 más de 70% de las mujeres de cuarenta años trabajaban fuera del hogar), Seven-Eleven deseaba explotar sus "tiendas de conveniencia cercanas" para servir mejor a sus clientes. La compañía intentó hacer esto ofreciendo "soluciones de comida" que aceleraban el proceso de cocinar en casa y servicios como "entrega de comidas a domicilio".

Sistema de información integrado en las tiendas de Seven-Eleven Japan

Desde su inicio Seven-Eleven Japan buscó simplificar sus operaciones con tecnología de información avanzada y atribuyó una parte significativa de su éxito al Sistema de Información Total instalado en cada tienda, y vinculado a sus oficinas generales, proveedores y centros de

(*Continúa*)

(Continuación)

distribución. La primera red en línea que vinculó la oficina principal, las tiendas y los proveedores se estableció en 1979, aunque en esa época no reunía información de sus puntos de venta (POS, *point of sale*). En 1982 Seven-Eleven llegó a ser la primera compañía en Japón en introducir un sistema de punto de venta compuesto de cajas registradoras y equipo de control de la terminal. En 1985 la compañía desarrolló, conjuntamente con NEC, computadoras personales que utilizaban gráficos de colores que se instalaron en cada tienda y se vinculaban con las cajas registradoras POS. Estas computadoras también estaban en la red que vinculaba la tienda con la oficina principal e incluso con los proveedores. Hasta julio de 1991 la oficina principal, las tiendas, los centros de distribución y los proveedores estaban vinculados sólo mediante una red analógica tradicional. En esa época se instaló una red digital de servicios integrados (ISDN, *Integrated Services Digital Network*). Al vincular a más de 5,000 tiendas se convirtió en uno de los sistemas ISDN más grandes del mundo en ese momento.

La capacidad de comunicación en línea de alta velocidad de dos vías de ISDN permitió a Seven-Eleven Japan recopilar, procesar y retroalimentar datos POS con rapidez. Los datos de ventas recopilados en cada tienda a las 11:00 pm se procesaban y estaban listos para su análisis a la siguiente mañana. En 1997 Seven-Eleven Japan introdujo su quinta generación del Sistema de Información Total, que en 2004 aún estaba en uso.

El sistema de hardware en una tienda Seven-Eleven incluía lo siguiente:

- ***Terminal gráfica de pedidos:*** Ésta era un dispositivo portátil con una gran pantalla gráfica, utilizada por el propietario o gerente de la tienda para colocar pedidos. Los artículos se registraban y traían en el orden en que estaban acomodados en los anaqueles. El gerente o el propietario de la tienda recorría los pasillos y colocaba pedidos por artículo. Cuando colocaba un pedido, el gerente de la tienda tenía acceso (desde la computadora de la tienda) a un análisis detallado de datos POS relacionados con el artículo particular. Éste incluía un análisis de ventas por categorías de productos y unidades de control de existencias (SKU) a lo largo del tiempo, un análisis de desperdicios, tendencias de las ventas en las últimas 10 semanas por SKUs, tendencias de las ventas en los últimos 10 días por SKUs, tendencias de las ventas de nuevos productos, análisis de ventas por día y hora, lista de artículos de movimiento lento, análisis de ventas y número de clientes a lo largo del tiempo, contribución del producto a secciones de los exhibidores de la tienda, y crecimiento de las ventas por categorías de productos. El gerente de la tienda utilizaba esta información cuando colocaba un pedido, el cual se introducía directamente en la terminal. Una vez que colocaban todos los pedidos, la terminal se regresaba a su base, momento en el cual los pedidos se enviaban por la computadora de la tienda tanto al proveedor apropiado como al centro de distribución de Seven-Eleven.
- ***Terminal de escáner:*** Estos escánares leían los códigos de barras y registraban el inventario. Se utilizaban para recibir productos provenientes del centro de distribución. Esto se verificaba de manera automática contra un pedido previamente colocado y se cotejaban los dos. Antes de la introducción de las terminales de escáner los conductores de los camiones de reparto esperaban en la tienda hasta que se verificaba la entrega. Después que las terminales quedaron instaladas el conductor simplemente dejaba la entrega en la tienda, y un empleado la recibía en un momento adecuado cuando había pocos clientes. Las terminales de escáner también se utilizaban cuando se examinaba el inventario en las tiendas.
- ***Computadora de tienda:*** Vinculaba la red ISDN, la caja registradora POS, la terminal de pedidos gráfica y la terminal de escáner. Comunicaba las varias fuentes de entrada, daba seguimiento al inventario de la tienda y a las ventas, colocaba pedidos, proporcionaba un análisis detallado de los datos del punto de venta, y mantenía y regulaba el equipo de la tienda.
- ***Caja registradora del punto de venta:*** Para entender mejor el funcionamiento de esta red de información se deben muestrear las operaciones diarias. En cuanto un cliente compraba un artículo y lo pagaba en la caja, la información sobre el artículo se recuperaba de la computadora y la hora de la venta quedaba registrada automáticamente. Además, el cajero registraba la edad y sexo del cliente; para ello, utilizaba cinco teclas de registro para categorías: bajo −13, 13-19, 20-29, 30-49 y 50+. Estos datos se transmitían automáticamente en línea a una computadora anfitriona. Todos los datos de las ventas se recopilaban a las 11:00 pm, se organizaban y alistaban para analizarlos a la mañana siguiente. Los datos se evaluaban a nivel de tienda, distrito o compañía.

Los datos analizados y actualizados se regresaban luego a Seven-Eleven Japan vía la red. Cada compu-

tadora de tienda actualizaba automáticamente su archivo maestro de productos para analizar sus ventas recientes y movimientos de las existencias. El objetivo principal del análisis era mejorar el proceso de colocación de pedidos. Toda esta información estaba disponible en la terminal gráfica que se utilizaba para colocar pedidos.

El sistema de información permitió a las tiendas Seven-Eleven igualar mejor la oferta con la demanda. El personal de la tienda podía ajustar la combinación de mercancías exhibidas en los anaqueles de acuerdo con los patrones de consumo a lo largo del día. Por ejemplo, los productos de desayuno populares se colocaban en los anaqueles en la noche. La identificación de artículos de movimiento lento o sin movimiento permitía a una tienda utilizar los espacios de anaquel para introducir productos nuevos. Más de 50% de los artículos vendidos en una tienda Seven-Eleven cambiaban en el curso de un año. Esto se debía en parte a la demanda estacional y en parte a los productos nuevos. Cuando se introducía un producto nuevo, la decisión de si se continuaba exhibiéndolo se tomaba dentro de las tres primeras semanas. Cada artículo exhibido en los anaqueles contribuía a las ventas y al margen, y no desperdiciaba el valioso espacio de anaquel.

Sistema de distribución de Seven-Eleven

El sistema de distribución de Seven-Eleven vinculaba estrechamente toda la cadena de suministro para todas las categorías de productos. Los centros de distribución y la red de información desempeñaban un rol clave a ese respecto. El objetivo más importante era rastrear con cuidado las ventas de artículos y ofrecer tiempos de ciclo de reabastecimiento cortos. Esto permitió a un gerente de tienda pronosticar con precisión las ventas correspondientes a cada pedido.

A partir de marzo de 1987 Seven-Eleven ofreció entrega en la tienda tres veces al día de todos los platillos a base de arroz (los cuales constituían la mayor parte de los productos de comida rápida vendidos). El pan y otros alimentos frescos se entregaban dos veces al día. El sistema de distribución era lo bastante flexible para modificar los programas de entrega dependiendo de la demanda de los clientes. Por ejemplo, los helados se entregaban a diario durante el verano, pero sólo tres veces por semana en otras estaciones. El tiempo de ciclo de reabastecimiento de productos frescos y de productos de comida rápida se había acortado a menos de 12 horas. Un pedido de bolas de arroz colocado a las 10:00 am se entregaba antes de la hora pico de la cena.

Como ya antes se explicó, el gerente de una tienda utilizaba una terminal gráfica para colocar un pedido. Todas las tiendas tenían tiempos límite para la colocación de pedidos de desayunos, almuerzos y comidas. Cuando una tienda colocaba un pedido, se transmitía de inmediato al proveedor y también al centro de distribución. El proveedor recibía los pedidos de todas las tiendas Seven-Eleven y comenzaba a surtir los pedidos. El proveedor los enviaba luego por camión al centro de distribución. Los pedidos de cada tienda se separaban para que el centro de distribución pudiera asignarlo con facilidad al camión de la tienda apropiado utilizando la información del pedido que ya tenía. La clave para la entrega a la tienda era lo que Seven-Eleven llamaba el sistema de entrega combinado. En el centro de distribución, la entrega de productos similares de diferente proveedores (por ejemplo, leche y emparedados) se cargaba en un camión de temperatura controlada. Había cuatro categorías de camiones de temperatura controlada: alimentos congelados, alimentos fríos, alimentos procesados a temperatura ambiente, y alimentos calientes. Cada camión entregaba a múltiples tiendas minoristas. El número de tiendas por camión dependía del volumen de ventas. Todas las entregas se hacían durante horas no pico y se recibían con las terminales de escáner. El sistema era confiable y no requería que la persona que realizaba la entrega estuviera presente cuando el personal de la tienda escaneaba la entrega. Eso reducía el tiempo de entrega consumido en cada tienda.

El sistema de distribución permitió a Seven-Eleven reducir el número de vehiculos requeridos para el servicio de entrega diaria en cada tienda, aun cuando la frecuencia de entrega de cada artículo era bastante alta. En 1974, 70 vehículos visitaban cada tienda cada día. Para 2006 sólo se requerían 9. Esto redujo drásticamente los costos de entrega y agilizó la entrega de una variedad de alimentos frescos.

Para febrero de 2004 Seven-Eleven Japan contaba con un total de 290 plantas de manufactura dedicadas en todo el país, las cuales procesaban sólo comidas rápidas para las tiendas Seven-Eleven. Estos artículos se distribuían por medio de 293 centros de distribución dedicados que garantizaban una entrega rápida y confiable. Ninguno de estos centros de distribución mantenía inventario, simplemente lo transferían de los camiones del proveedor a los camiones de distribución de Seven-Eleven. El transporte lo proveía Transfleet Ltd., una compañía establecidad por Mitsui and Co. para el uso exclusivo de Seven-Eleven Japan.

7-Eleven en Estados Unidos

Seven-Eleven se había expandido rápidamente por todo el mundo (tabla 3-5). El crecimiento principal fue en Asia, aunque Estados Unidos continuó siendo el segundo

(*Continúa*)

(Continuación)

Tabla 3-5 Distribución global de tiendas Seven-Eleven en enero de 2011

País	Tiendas
Japón	13,049
Estados Unidos	6,726
Taiwan	4,790
Tailandia	5,840
Corea del Sur	3,150
China	1,717
Malasia	1,250
México	1,223
Canadá	465
Australia	415
Singapur	549
Filipinas	567
Noruega	173
Suecia	189
Dinamarca	129
Indonesia	23
Total	40,255

mercado más grande para Seven-Eleven. Al comprar Seven-Eleven Japan a Southland Corporation comenzaron a mejorar las operaciones en Estados Unidos. En los años iniciales se cerraron varias tiendas 7-Eleven en Estados Unidos y el número de tiendas comenzó a crecer a principios de 1998.

Históricamente, la estructura de distribucion en Estados Unidos era del todo diferente a la de Japón. Las tiendas en Estados Unidos se reabastecían utilizando la entrega directa en las tiendas (DSD, *direct store delivery*) realizada por algunos fabricantes, y el resto de los productos lo entregaban mayoristas. La entrega directa en las tiendas representaba cerca de la mitad del volumen total y el resto provenia de mayoristas.

En 2000, con el objetivo de introducir productos "frescos" en Estados Unidos, 7-Eleven introdujo el concepto de centros de distribución combinada. Para 2003, 7-Eleven contaba con 23 centros de distribución combinada (CDCs) en todo Estados Unidos, que apoyaban a cerca de 80% de la red de tiendas. Los centros de distribución combinada entregaban productos frescos como emparedados, productos de repostería, pan, verduras y otros productos perecederos una vez al día. Varios proveedores de alimentos frescos enviaban productos al centro de distribución combinada durante el día, donde luego eran clasificados para entregarlos a las tiendas en la noche. Las peticiones de los gerentes de tienda se enviaban al centro de distribución más cercano, y para las 10:00 pm los productos estaban en ruta hacia las tiendas. Con respecto a Japón, una fracción mayor de los alimentos vendidos, en especial alimentos calientes como alitas y pizza, se preparaban en la tienda. Las ventas de alimentos frescos en Estados Unidos superaron los $450 millones en 2003. Durante este periodo también continuó la entrega directa en tienda por parte de los fabricantes y los mayoristas.

Éste fue un periodo en el que 7-Eleven trabajó arduamente para introducir nuevos alimentos frescos con el objetivo de competir más directamente con sus similares de Starbucks que con las tiendas de gasolinera tradicionales. 7-Eleven en Estados Unidos realizaba más de 63% de sus ventas con productos no de gasolina en comparación con el resto de la industria, para el que este número se acercaba a 35%. El objetivo era seguir incrementando las ventas en las categorías de comidas rápidas y alimentos frescos con un enfoque especial en los alimentos calientes.

En 2009 el ingreso en Estados Unidos y Canadá totalizó $16 000 millones, con cerca de 63% proveniente de mercancías, y el resto de la venta de gasolina. La tasa de rotación de inventario en Estados Unidos era de cerca de 19, comparada con más de 50 en Japón. Esto, sin embargo, representaba una mejora significativa en el desempeño de Estados Unidos, donde las rotaciones de inventario en 1992 eran de cerca de 12.

Preguntas de estudio

1. Una cadena de tiendas de conveniencia intenta tener capacidad de respuesta y proporciona a los clientes lo que necesitan, cuando lo necesitan y donde lo necesitan. ¿Cuáles son algunas formas diferentes en que la cadena de suministro de una tienda de conveniencia puede tener capacidad de respuesta? ¿Cuáles son los riesgos en cada caso?
2. La estrategia de la cadena de suministro de Seven-Eleven en Japón se puede describir como un intento de microigualar la oferta y la demanda por medio de un reabastecimiento rápido. ¿Cuáles son algunos riesgos asociados con esta opción?
3. ¿Qué ha hecho Seven-Eleven para seleccionar la ubicación de sus instalaciones, la administración de inventario, transporte, y la infraestructura de información para desarrollar capacidades que apoyen su estrategia de cadena de suministro en Japón?
4. Seven-Eleven no permite la entrega directa en tiendas en Japón sino que hace que todos los productos fluyan a través de su centro de distribución. ¿Qué beneficios obtiene Seven-Eleven con esta política? Cuándo es más apropiada la entrega directa en tiendas?

5. ¿Qué piensa sobre el concepto 7dream de Seven-Eleven Japón? Desde la perspectiva de una cadena de suministro, ¿es probable que se tenga más éxito en Japón, o en Estados Unidos? ¿Por qué?
6. Seven-Eleven está intentando duplicar la estructura de la cadena de suministro que ha tenido éxito en Japón y en Estados Unidos con la introducción de centros de distribución combinada (CDC). ¿Cuáles son los pros y los contras de este enfoque? Tenga presente que las tiendas también son reabastacidas por mayoristas y que la entrega directa en tiendas la hacen los fabricantes.
7. Estados Unidos cuenta con distribuidores de servicio de alimentos que también reabastecen tiendas de conveniencia. ¿Cuáles son los pros y los contras de que un distribuidor reabastezca las tiendas de conveniencia frente a una compañía como Seven-Eleven que maneja su propia función de distribución?

Estudio de caso

Estados financieros de Walmart Stores Inc.

La tabla 3-6 contiene los resultados financieros de Walmart de 2008 y 2009 (declarados el 31 de enero del siguiente año). Evalúe el desempeño financiero de Walmart basado en las varias métricas que se explican en la sección 3.1, como ROE, ROA, margen de utilidad, rotaciones de activos, APT, C2C, ART, INVT y PPET. Compare las métricas de Walmart con las métricas similares de Amazon de la tabla 3-1. ¿Con cuáles métricas se desempeña mejor Amazon? ¿Con cuáles métricas se desempeña mejor Walmart? ¿Qué controladores de la cadena de suministro y métricas podrían explicar esta diferencia de desempeño?

En 2010 Walmart anunció que planeaba cambiarse a áreas urbanas en Estados Unidos al construir y operar tiendas de formato más pequeño comparadas con las grandes tiendas que había operado hasta ese momento. ¿Cuáles métricas se verán afectadas por este cambio de lugar? ¿Cómo impactará este movimiento a las varias métricas financieras? ¿Por qué?

Tabla 3-6 Datos financieros seleccionados de Walmart Stores Inc.

Año finalizado el 31 de enero ($ millones)	**2010**	**2009**
Ingresos de operación netos	408,214	404,374
Costo de productos vendidos	304,657	304,056
Utilidad bruta	103,557	100,318
Gastos de ventas, generales y administrativos	79,607	77,520
Ingreso de operación	23,950	22,798
Gastos por intereses	2,065	2,184
Otros ingresos netos (pérdidas)	181	284
Ingreso antes de los impuestos sobre la renta	22,066	20,898
Impuestos sobre la renta	7,139	7,145
Otros gastos	592	353
Ingreso neto	14,335	13,400
Activos		
Equivalentes de efectivo y efectivo	7,907	7,275
Inversiones en el corto plazo	-	-
Cuentas por cobrar netas	4,144	3,905
Inventarios	33,160	34,511
Activos totales actuales	48,331	48,949
Propiedad, planta y equipo	102,307	95,653
Fondo de comercio	16,126	15,260
Otros activos	3,942	3,567
Activos totales	170,706	163,429
Pasivos y patrimonio neto		
Cuentas por pagar	50,550	47,638
Deuda en el corto plazo	4,919	7,669
Otro pasivo actual	92	83
Pasivo actual total	55,561	47,638
Deuda en el largo plazo	36,401	34,549
Otros pasivos	7,688	7,808
Pasivos totales	99,650	97,747
Patrimonio neto	5,257	2,672

4



Diseño de redes de distribución y aplicaciones a ventas en línea

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Identificar los factores clave que deben considerarse cuando se diseña una red de distribución.
2. Definir las fortalezas y debilidades de varias opciones de distribución.
3. Entender cómo las ventas en línea han afectado el diseño de redes de distribución en diferentes industrias.

En este capítulo proporcionamos un entendimiento del rol de distribución en una cadena de suministro, e identificamos los factores que deben considerarse cuando se diseña una red de distribución. Identificamos varios diseños potenciales de redes de distribución y evaluamos las fortalezas y debilidades de cada opción. Aplicamos estas ideas para analizar la evolución de redes de distribución en varias industrias desde el advenimiento de las ventas en línea. Nuestro objetivo es proporcionar a los gerentes un marco lógico para seleccionar la red de distribución apropiada dadas las características competitivas y de mercado de un producto.

4.1 EL ROL DE DISTRIBUCIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO

La *distribución* se refiere a los pasos dados para trasladar y almacenar un producto desde la etapa del proveedor a una etapa de cliente en la cadena de suministro. La distribución ocurre entre cada par de etapas en la cadena de suministro. La materia prima y los componentes se trasladan de los proveedores a los fabricantes, en tanto que los productos terminados se trasladan del fabricante al consumidor final. La distribución es un controlador clave de la rentabilidad total de una empresa porque afecta directamente tanto el costo de la cadena de suministro como el valor para el cliente. En la industria minorista del vestido, la distribución afecta (incluyendo su influencia en las rebajas y las ventas perdidas) a cerca de 35% del ingreso. En la India, el costo de la distribución de salida del cemento es de casi 30% del costo de producirlo y venderlo.

No sería exagerado afirmar que las dos compañías más rentables del mundo, Walmart y Seven-Eleven Japan, han forjado su éxito en torno al diseño y operación de la distribución de salida. En el caso de Walmart, la distribución le permite ofrecer altos niveles de disponibilidad de productos relativamente comunes a muy bajo costo. En el caso de Seven-Eleven Japan, la distribución eficaz ofrece un muy alto nivel de capacidad de respuesta al cliente a un costo razonable.

El proceso de diseñar una red de distribución consta de dos fases generales. En la primera se visualiza la estructura general de la red de la cadena de suministro. Esta etapa incluye decisiones como la de que si el producto se venderá directamente o a través de un intermediario. La segunda adopta entonces la estructura general y la convierte en ubicaciones específicas, idoneidad, capacidad y asignación de la demanda. Este capítulo se enfoca en temas que impactan el diseño de la red de distribución general. Los capítulos 5 y 6 se enfocan en la segunda fase, que se inicia con la red general y termina con una red de cadena de suministro específica.

La red de distribución apropiada puede usarse para lograr varios objetivos de la cadena de suministro que van desde un costo bajo hasta una alta capacidad de respuesta. Por consiguiente, a menudo las compañías del mismo ramo seleccionan redes de distribución diferentes. A continuación analizamos ejemplos que recalcan la variedad de opciones de red de distribución y los temas que surgen cuando seleccionamos entre estas opciones.

Hasta 2007 Dell distribuía sus computadoras personales directamente a los clientes finales, en tanto que compañías como HP lo hacían a través de revendedores. Los clientes de Dell esperaban varios días para obtener una computadora personal, en tanto que los clientes podían salir de la tienda de un revendedor con una computadora HP. A partir de junio de 2007 Dell también comenzó a vender sus computadoras personales a través de minoristas como Walmart. A finales de la década de 1990 Gateway abrió las tiendas Gateway Country donde los clientes podían examinar los productos y pedir a los vendedores que les ayudaran a configurar una computadora adecuada a sus necesidades. Sin embargo, Gateway decidió no vender sus productos en las tiendas; todas las computadoras personales se enviaban directamente de la fábrica al cliente. Para abril de 2004 Gateway cerró todas sus tiendas debido a su deficiente desempeño financiero. Apple Computer, en contraste, ha abierto muchas tiendas minoristas que venden computadoras. Estas compañías fabricantes de computadoras han elegido modelos de distribución diferentes. ¿Cómo podemos evaluar este amplio rango de opciones de distribución? ¿Cuál sirve mejor a las compañías y a sus clientes?

P&G decidió distribuir directamente a grandes cadenas de supermercados obligando a los pequeños vendedores a comprar productos P&G directamente de los distribuidores. Los productos se trasladan directamente de P&G a las cadenas grandes, pero lo hacen a través de una etapa adicional cuando se dirigen a supermercados más pequeños. Texas Instruments, que alguna vez utilizara sólo ventas directas, ahora vende cerca de 30% de su volumen a 98% de sus clientes mediante distribuidores, en tanto que atiende directamente al 2% restante de los clientes con 70% del volumen.[1] ¿Qué valor proporcionan estos distribuidores? ¿Cuándo una red de distribución debe incluir una etapa adicional, como un distribuidor? Los distribuidores desempeñan un rol más significativo cuando distribuyen bienes de consumo en un país como la India en comparación con Estados Unidos. ¿Por qué podría ser éste el caso?

W. W. Grainger mantiene cerca de 200,000 unidades de control de existencias que puede enviar a los clientes un día después de la colocación de un pedido. El resto de los productos de lento movimiento no se almacena, sino que se envía directamente desde el fabricante cuando un cliente coloca un pedido; en este caso se requieren varios días para que el cliente reciba el producto. ¿Son apropiadas estas opciones de distribución? ¿Cómo pueden justificarse?

Como los ejemplos anteriores lo ilustran, las empresas pueden escoger entre muchas opciones al diseñar su red de distribución. Una red inapropiada puede tener un efecto significativo en la rentabilidad de la empresa, como lo evidencia el fracaso de compañías como Blockbuster y Webvan. La opción apropiada de red de distribución incrementa el superávit de la cadena de suministro al satisfacer las necesidades del cliente al costo más bajo posible.

En la siguiente sección identificamos las medidas de desempeño que deben considerarse al diseñar la red de distribución.

4.2 FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

Al nivel más alto, el desempeño de una red de distribución debe evaluarse con base en dos dimensiones:

1. Las necesidades del cliente que deben satisfacerse
2. El costo de satisfacer las necesidades del cliente

Por consiguiente, una empresa debe evaluar el impacto en el servicio al cliente y el costo al comparar diferentes opciones de red de distribución. Las necesidades del cliente que se satisfacen influyen en los ingresos de la compañía, las cuales, junto con el costo, deciden la rentabilidad de la red de entrega.

Aunque muchos factores afectan el valor del cliente, nos enfocamos en las medidas que se ven afectadas por la estructura de la red de distribución:

- Tiempo de respuesta
- Variedad del producto
- Disponibilidad del producto

[1] Ananth Raman y Bharat P. Rao, *A Tale of Two Electronic Component Distributors.* Harvard Business School Case 9-1997, pp. 697-064.

- Experiencia del cliente
- Tiempo para llegar al mercado
- Visibilidad del pedido
- Retornabilidad

El tiempo de respuesta es la cantidad de tiempo que trascurre hasta que un cliente recibe un pedido. La variedad del producto es la cantidad de diferentes productos y su configuración, que ha ofrecido una red de distribución. La disponibilidad del producto es la probabilidad de tener un producto en existencia cuando llega el pedido de un cliente. La experiencia del cliente incluye la facilidad con que los clientes pueden colocar y recibir pedidos y el grado al cual se personaliza esta experiencia. También incluye aspectos puramente de experiencia, como la posibilidad de saborear una taza de café y el valor que el personal de ventas proporciona. El tiempo para llegar al mercado es el tiempo que se requiere para lanzar un nuevo producto al mercado. La visibilidad del pedido es la capacidad de los clientes de seguirle los pasos a sus pedidos desde la colocación hasta la entrega. La retornabilidad es la facilidad con que un cliente puede devolver una mercancía que no le satisface y la capacidad de la red de manejar tales devoluciones.

A primera vista parecería que un cliente siempre desea el más alto nivel de desempeño a lo largo de todas estas dimensiones; sin embargo, en la práctica éste no el caso. Los clientes que piden un libro en Amazon están dispuestos a esperar más tiempo que los que utilizan el automóvil y van hasta la tienda Barnes & Noble más cercana para obtener el mismo libro. Por el contrario, los clientes pueden encontrar una variedad mucho mayor de libros en Amazon que en Barnes & Noble, de modo que los clientes de Amazon intercambian los tiempos de respuesta rápidos por niveles de variedad altos.

Las empresas cuyos clientes pueden tolerar un largo tiempo de respuesta requieren sólo algunas instalaciones que pueden estar alejadas del cliente y en consecuencia pueden enfocarse en aumentar la capacidad de cada instalación. En contraste, las empresas enfocadas en clientes que valoran el tiempo de respuesta corto necesitan situar las instalaciones cerca de ellos, lo que implica tener muchas instalaciones de baja capacidad. Por consiguiente, la reducción del tiempo de respuesta que los clientes desean incrementa el número de instalaciones requeridas en la red, como se muestra en la figura 4-1. Por ejemplo, Barnes & Noble proporciona libros a sus clientes el mismo día, pero requiere cientos de tiendas para lograr este objetivo para la mayor parte de Estados Unidos. Amazon, por el contrario, se tarda algunos días para entregar un libro a sus clientes en Estados Unidos, pero le basta una veintena de instalaciones para almacenar sus libros.

Cambiar el diseño de la red de distribución afecta los siguientes costos de la cadena de suministro (observe que éstos son cuatro de los seis controladores de la cadena de suministro que ya vimos antes):

- Inventarios
- Transporte
- Instalaciones y manejo
- Información

Los otros dos controladores, aprovisionamiento y fijación de precios, también afectan la elección del sistema de distribución; el vínculo se analizará cuando sea pertinente. Conforme el número de instalaciones en una cadena de suministro se incrementa, el inventario y sus costos resultantes también aumentan (vea el capítulo 12) como se muestra en la figura 4-2.

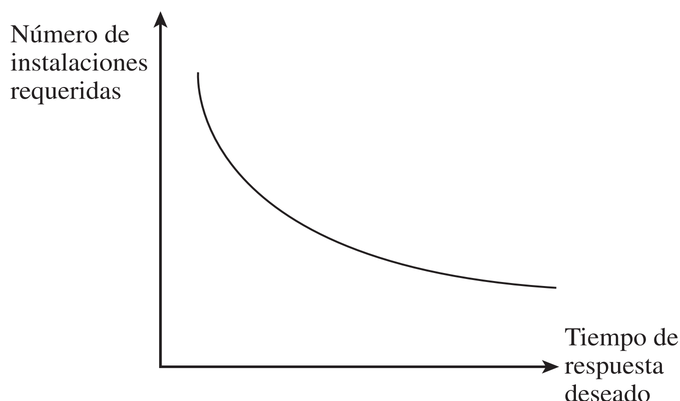


FIGURA 4-1 Relación entre el tiempo de respuesta deseado y el número de instalaciones.

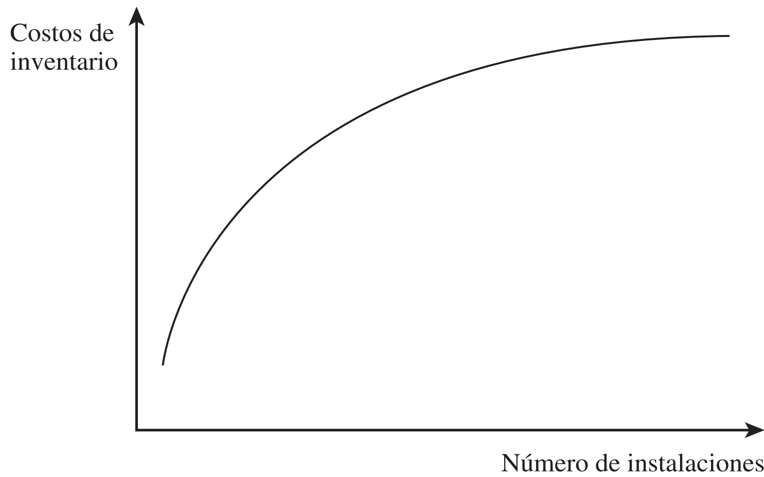


FIGURA 4-2 Relación entre el número de instalaciones y los costos de inventario.

Para reducir los costos de inventario, las empresas tratan de consolidar y limitar el número de instalaciones en su red de cadena de suministro. Por ejemplo, con pocas instalaciones Amazon es capaz de rotar su inventario cerca de 10 veces al año, mientras que Barnes & Noble, con cientos de instalaciones, lo hace sólo cerca de tres veces al año.

Los *costos de transporte entrante* son los costos en que se incurre al traer el material a una instalación. Los *costos de transporte saliente* son los costos del envío del material desde una instalación. Éstos tienden a ser más altos por unidad porque en general los tamaños de los lotes entrantes son más grandes. Por ejemplo, un almacén de Amazon recibe envíos de camiones completos de libros por el lado de entrada, pero envía paquetes pequeños con pocos libros por cliente por el lado de salida. El incremento del número de almacenes reduce la distancia promedio al cliente y hace que esta distancia sea una fracción más pequeña de la distancia total recorrida por el producto. Por consiguiente, mientras las economías de escala del transporte de entrada se mantengan, el incremento del número de instalaciones reduce el costo total de transporte, como se muestra en la figura 4-3. Si el número de instalaciones se incrementa a un punto en que los tamaños de los lotes de entrada también son muy pequeños y producen una pérdida significativa de las economías de escala en el transporte de entrada, el aumento del número de instalaciones incrementa el costo total de transporte, como se muestra en la figura 4-3.

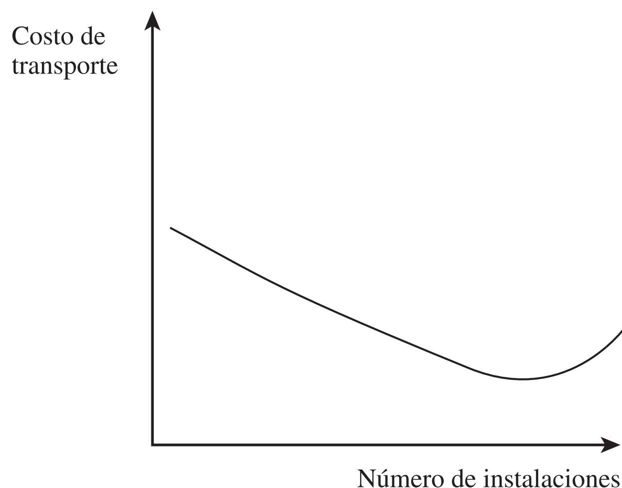


FIGURA 4-3 Relación entre el número de instalaciones y el costo de transporte.

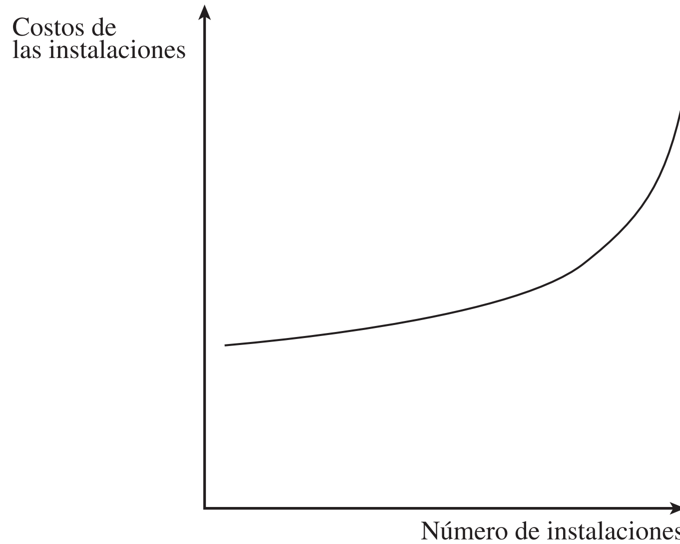


FIGURA 4-4 Relación entre el número de instalaciones y los costos de instalaciones.

Los costos de las instalaciones se reducen a medida que su número se reduce, como se muestra en la figura 4-4, porque su consolidación permite que una empresa explote las economías de escala. Mientras que Amazon logró una rotación de propiedad, planta y equipo (PPET) de 19 en 2009, Barnes & Noble tuvo una PPET de sólo un poco más de 7.

Los costos logísticos totales son la suma de los costos de inventario, transporte e instalaciones de una red de cadena de suministro. Conforme el número de instalaciones se incrementa, los costos logísticos totales primero se reducen y luego se aumentan como se muestra en la figura 4-5. Cada empresa debe contar con *al menos* el número de instalaciones que minimice los costos logísticos totales. Amazon cuenta con más de un almacén sobre todo para reducir sus costos logísticos (y mejorar el tiempo de respuesta). Si una empresa desea reducir aún más el tiempo de respuesta ante sus clientes, quizá tenga que aumentar el número de instalaciones más allá del punto que minimiza los costos logísticos. Una empresa debe agregar instalaciones más allá del punto de minimización de costos, sólo si los gerentes tienen la certeza de que el incremento de los ingresos derivados de una mayor capacidad de respuesta es mayor que el incremento de los costos derivados de las instalaciones adicionales.

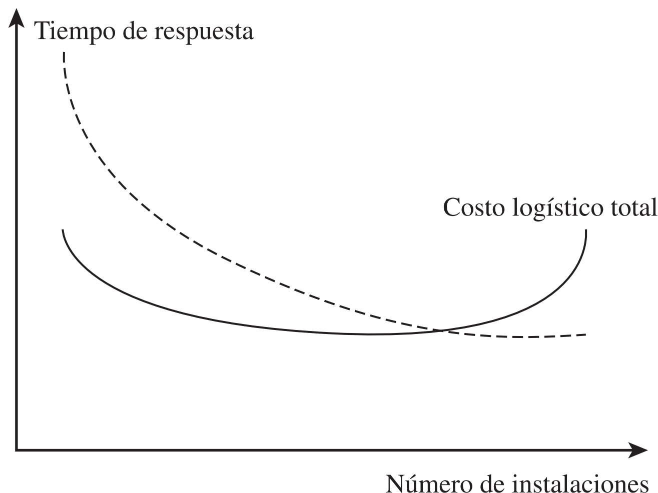


FIGURA 4-5 Variación del costo logístico y el tiempo de respuesta con el número de instalaciones.

El servicio al cliente y los componentes del costo antes enumerados son las medidas principales utilizadas para evaluar los diferentes diseños de redes de entrega. En general ninguna red de distribución superará el desempeño de otras a lo largo de todas las dimensiones. Por consiguiente, es importante asegurarse de que las fortalezas de la red de distribución se ajusten a la posición estratégica de la empresa.

En la siguiente sección analizamos varias redes de distribución y sus fortalezas y debilidades relativas.

4.3 OPCIONES DE DISEÑO PARA UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

En esta sección analizamos las opciones de red de distribución desde el fabricante hasta el consumidor final.

Cuando se considera la distribución entre cualquier otro par de etapas, como del proveedor al fabricante o incluso una compañía de servicio que atiende a sus clientes mediante una red de distribución, muchas de las mismas opciones siguen siendo válidas. Los gerentes deben tomar dos decisiones clave al diseñar una red de distribución:

1. ¿Se entregará el producto a domicilio o se entregará en un sitio predeterminado?
2. ¿Fluirá el producto a través de un intermediario (o ubicación intermedia)?

Con base en el ramo de la empresa y las respuestas a estas dos preguntas, se puede utilizar uno de seis diseños de red de distribución distintos para mover productos de la fábrica al cliente. Estos diseños se clasifican como sigue:

1. Almacenamiento con el fabricante con envío directo.
2. Almacenamiento con el fabricante con envío directo y consolidación en tránsito.
3. Almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería.
4. Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio.
5. Almacenamiento con el fabricante o distribuidor con recolección por parte del cliente.
6. Almacenamiento con el minorista con recolección por parte del cliente.

Almacenamiento con el fabricante con envío directo

En esta opción el producto se envía directamente del fabricante al consumidor final, sin que pase por el minorista (quien toma el pedido e inicia la solicitud de entrega). Esta opción también se conoce como *envío directo*. El minorista no mantiene inventario. La información fluye del cliente, vía el minorista, al fabricante, y el producto se envía directamente del fabricante a los clientes, como se muestra en la figura 4-6. Los minoristas en línea como eBags y Nordstrom.com utilizan el envío directo para entregar productos al cliente final. eBags mantiene pocas bolsas en el inventario; Nordstrom almacena algunos productos en el inventario y utiliza el modelo de envío directo para calzado de lento movimiento. W. W. Grainger también utiliza el envío directo para entregar productos de lento movimiento a clientes.

La mayor ventaja del envío directo es la capacidad de centralizar los inventarios con el fabricante, quien puede agregar la demanda de todos los minoristas que atiende. Como resultado, la cadena de sumi-

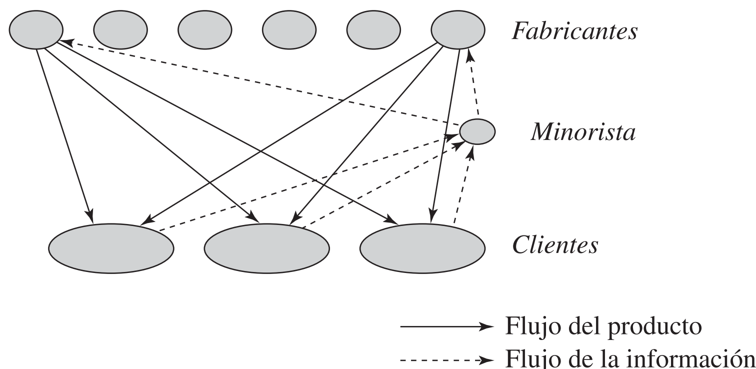


FIGURA 4-6 Almacenamiento con el fabricante con envío directo.

nistro es capaz de proporcionar un alto nivel de disponibilidad de producto con bajos niveles de inventario. Un tema clave con respecto al envío directo es la estructura de propiedad del inventario del fabricante. Si se asignan a minoristas individuales partes específicas del inventario almacenado por el fabricante, el beneficio derivado de la agregación es poco aun cuando el inventario esté físicamente agregado. El beneficio de la agregación se logra sólo si el fabricante puede asignar al menos una parte del inventario disponible a través de los minoristas conforme se vaya necesitando. Los beneficios de la centralización son más altos en el caso de productos de baja demanda impredecible y alto valor. La decisión de Nordstrom de entregar directamente los zapatos de baja demanda satisface estos criterios. Asimismo, las bolsas de mano vendidas por eBags tienden a tener un alto valor y relativamente baja demanda por unidades de referencia de almacén (SKU). Los beneficios de agregación del inventario son pequeños en el caso de productos con demanda predecible y bajo valor. Por consiguiente, el envío directo no ofrece una venta significativa por lo que se refiere al inventario para un abarrotero que vende en línea un producto básico como el detergente. Para productos de lento movimiento, las rotaciones del inventario se pueden incrementar por un factor de seis o más si se utiliza envío directo en vez de almacenamiento en tiendas minoristas.

El envío directo también ofrece al fabricante la oportunidad de aplazar la personalización hasta después de que un cliente ha colocado un pedido. El aplazamiento, si se implementa, reduce aún más los inventarios por la agregación al nivel de componentes. Para sus máquinas personalizadas, Dell mantiene inventarios como componentes comunes y aplaza la personalización del producto, lo que reduce el nivel del inventario mantenido.

Aunque los costos de inventario en general son bajos con el envío directo, los costos de transporte son altos porque la distancia promedio al consumidor final es grande y se utilizan empresas de mensajería para enviar el producto. Estas empresas tienen altos costos de envío por unidad comparados con las empresas que envían camiones llenos o casi llenos. Con el envío directo, el pedido de un cliente que incluya productos de varios fabricantes implicará varios envíos al cliente. Esta pérdida de agregación del transporte de salida incrementa el costo.

Las cadenas de suministro ahorran en el costo fijo de las instalaciones cuando utilizan el envío directo porque todos los inventarios se centralizan con el fabricante. Esto elimina la necesidad de otros almacenes en la cadena de suministro. También puede haber algunos ahorros en los costos de manejo, porque se elimina la transferencia del fabricante al minorista. Sin embargo, los ahorros en el costo del manejo deben evaluarse con cuidado porque ahora ya no se requiere que el fabricante transfiera productos al almacén de la fábrica en todos los casos y que luego los envíe desde el almacén en unidades individuales. La incapacidad de un fabricante de entregar unidades únicas puede tener un efecto negativo significativo en el costo de manejo y en el tiempo de respuesta. Los costos de manejo pueden reducirse de manera importante si el fabricante tiene la capacidad de enviar pedidos directamente desde la línea de producción.

Se requiere una buena infraestructura de información entre los minoristas y el fabricante, de modo que los primeros puedan proporcionar información sobre disponibilidad del producto al cliente aun cuando el inventario se encuentre en el almacén del fabricante. El cliente debe poder ver el procesamiento del pedido en la instalación del fabricante, aun cuando el pedido se haya colocado con el minorista. En general, el envío directo requiere una inversión significativa en infraestructura de información. El requerimiento de infraestructura de información es algo más simple para vendedores directos como Dell porque no es necesario integrar dos etapas (minorista y fabricante).

Los tiempos de respuesta tienden a ser más largos cuando se utiliza el envío directo porque el pedido se tiene que transmitir del minorista al fabricante y las distancias de envío en general son más largas desde el sitio centralizado del fabricante. eBags, por ejemplo, afirma que el procesamiento de un pedido puede tomar de uno a cinco días y el transporte terrestre después de eso puede consumir de tres a once días hábiles. Esto implica que el tiempo de respuesta al cliente en eBags será de cuatro a dieciseis días con el uso de transporte terrestre y envío directo.

Otro tema es que el tiempo de respuesta no tiene que ser idéntico para cada fabricante que forme parte del pedido de un cliente. Dado un pedido que contiene productos de varios fabricantes, el cliente recibirá múltiples envíos parciales a lo largo del tiempo, lo que complica más la recepción por parte del cliente.

El almacenamiento con el fabricante permite un alto nivel de variedad del producto disponible para el cliente. Con un modelo de envío directo cada producto guardado con el fabricante puede ponerse a disposi-

ción del cliente sin los límites impuestos por el espacio de anaquel. W. W. Grainger puede ofrecer cientos de miles de productos de movimiento lento desde miles de fabricantes utilizando el envío directo. Esto sería imposible si W. W. Grainger tuviera que almacenar cada producto. El envío directo permite que un producto esté disponible en el mercado el día que se produce la primera unidad.

El envío directo es una buena experiencia para el cliente por la entrega en su domicilio; sin embargo, sufre cuando se entrega en envíos parciales un solo pedido que contiene productos de varios fabricantes.

La visibilidad del pedido es importante en el contexto de mantenimiento en el almacén del fabricante, porque intervienen dos etapas de la cadena de suministro en cada pedido del cliente. Es probable que la falta de esta capacidad tenga un efecto negativo en la satisfacción del cliente. El seguimiento del pedido, sin embargo, se vuelve difícil de implementar en un sistema de envío directo porque requiere la integración completa de los sistemas de información tanto con el detallista como con el fabricante. Para vendedores directos como Dell, la visibilidad del pedido es más simple de proporcionar.

Es probable que una red de almacenamiento de un fabricante tenga dificultades para manejar las devoluciones, lo que perjudicaría la satisfacción del cliente. El manejo de las devoluciones es caro cuando se utiliza el envío directo porque cada pedido puede implicar envíos de más de un fabricante. Las devoluciones pueden manejarse de dos maneras; una es que el cliente devuelva el producto directamente al fabricante, la otra es que el minorista establezca una instalación aparte (a través de todos los fabricantes) para manejar las devoluciones. El primer enfoque incurre en altos costos de transporte y coordinación, mientras que el segundo requiere invertir en una instalación para manejar las devoluciones.

Las características de desempeño del envío directo a lo largo de varias dimensiones se resumen en la tabla 4-1.

Tabla 4-1 Características de desempeño del almacenamiento con el fabricante con red de envío directo

Factor de costo	Desempeño
Inventario	Costos bajos debido a la agregación. Los beneficios derivados de la agregación son altos con artículos de baja demanda y alto valor. Los beneficios son grandes si el fabricante puede aplazar la personalización del producto.
Transporte	Altos costos de transporte debido a la distancia incrementada y al envío desagregado.
Instalaciones y manejo	Bajos costos de instalación debido a la agregación. Algunos ahorros en los costos de manejo si el fabricante puede manejar envíos pequeños o enviarlos desde la línea de producción.
Información	Inversión significativa en infraestructura de información para integrar al fabricante y al minorista.
Factor de servicio	**Desempeño**
Tiempo de respuesta	Largo tiempo de respuesta, de una a dos semanas, debido a la distancia incrementada y a las dos etapas requeridas para procesar el pedido. El tiempo de respuesta puede variar según el producto, lo que complica la recepción.
Variedad del producto	Fácil de proporcionar un alto nivel de variedad.
Disponibilidad del producto	Fácil de proporcionar un alto nivel de disponibilidad del producto debido a la agregación en el sitio del fabricante.
Experiencia del cliente	Buena en términos de entrega a domicilio, pero puede sufrir si el pedido de varios fabricantes se hace en envíos parciales.
Tiempo para llegar al mercado	Rápido, cuando el producto está disponible en cuanto se produce la primera unidad.
Visibilidad del pedido	Más difícil pero también más importante desde la perspectiva de servicio del cliente.
Retornabilidad	Cara y difícil de implementar.

Dadas sus características de desempeño, el almacenamiento en el sitio del fabricante con envío directo es más adecuado para una gran variedad de artículos de baja demanda y alto valor que los clientes están dispuestos a esperar hasta que se les entreguen y a aceptar varios envíos parciales. El almacenamiento en el sitio del fabricante también es adecuado si permite al fabricante aplazar la personalización, lo que reduce los inventarios. Es ideal por consiguiente para vendedores directos que son capaces de fabricar sobre pedido. Para que el envío directo sea eficaz, debe haber pocos lugares de aprovisionamiento por pedido.

Almacenamiento con el fabricante con envío directo y consolidación en tránsito

A diferencia del envío directo, conforme al cual cada producto del pedido se envía directamente desde su fabricante hasta el consumidor final, la consolidación en tránsito combina piezas del pedido provenientes de diferentes lugares de modo que el cliente reciba una sola entrega. La información y los flujos del producto para la red de consolidación en tránsito se muestran en la figura 4-7. Dell ha utilizado la consolidación en tránsito y las compañías que implementan el envío directo pueden utilizarla. Cuando un cliente pide una computadora personal a Dell junto con un monitor Sony, la empresa de mensajería recoge la PC en Dell y el monitor en la fábrica Sony; luego consolida los dos en un centro de distribución antes de hacer una sola entrega al cliente.

Como con el envío directo, la capacidad de agregar inventarios y aplazar la personalización del producto es una ventaja significativa de la consolidación en tránsito. Ésta permite a Dell y a Sony mantener todos sus inventarios en la fábrica. Este enfoque ofrece los mayores beneficios en el caso de productos de alto valor cuya demanda es difícil de pronosticar, sobre todo si la personalización del producto se puede aplazar.

Aunque se requiere incrementar la coordinación, la consolidación en tránsito reduce los costos de transporte en relación con el envío directo por la agregación de la entrega final.

Para el fabricante y el minorista, los costos de instalación y procesamiento son similares a los del envío directo. La parte que realiza la consolidación en tránsito incurre en costos de instalación más altos debido a la capacidad de fusión requerida. Los costos de recepción incurridos por el cliente son bajos debido a que recibe un solo pedido. Los costos totales de manejo e instalación en el caso de la cadena de suministro son un poco más altos que con el envío directo.

Para la consolidación en tránsito se requiere una infraestructura de información compleja. Además de la información, deben coordinarse las operaciones del minorista, el fabricante y la empresa de mensajería. La inversión en infraestructura de información es más alta que la del envío directo.

Los tiempos de respuesta, variedad del producto, disponibilidad y el tiempo para llegar al mercado son similares a los del envío directo. Los tiempos de respuesta pueden ser marginalmente más altos por la necesidad de realizar la consolidación. Es probable que la experiencia del cliente sea mejor que con el envío directo porque el cliente recibe sólo una entrega de un pedido en lugar de muchos envíos parciales. La visibilidad del pedido es un importante requerimiento. Aunque el montaje inicial es difícil porque se requiere la integración del fabricante, el transportista y el minorista, el seguimiento se facilita dada la consolidación que ocurre en el centro de distribución del transportista.

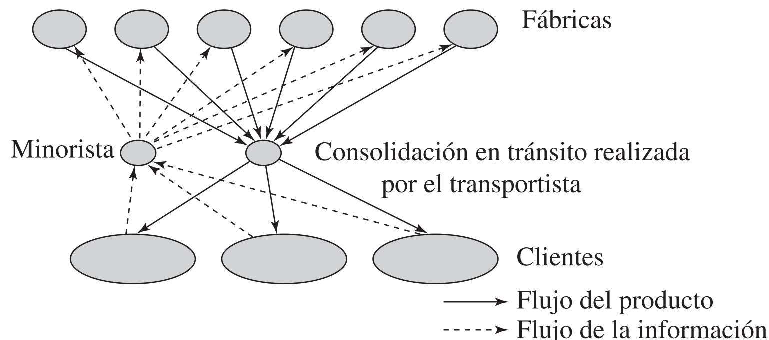


FIGURA 4-7 Red de consolidación en tránsito.

Tabla 4-2 Características de desempeño de la fusión en tránsito

Factor de costo	Desempeño
Inventario	Similar al costo directo.
Transporte	Costos de transporte un poco más bajos que los del envío directo.
Instalaciones y manejo	Costos de manejo más altos que los del envío directo para el transportista; costos de recepción más bajos para el cliente.
Información	Inversión un poco más alta que la del envío directo.
Factor de servicio	**Desempeño**
Tiempo de respuesta	Similar al del envío directo; puede ser marginalmente más alto.
Variedad del producto	Similar a la del envío directo.
Disponibilidad del producto	Similar a la del envío directo.
Experiencia del cliente	Mejor que con el envío directo porque se recibe sólo una entrega.
Tiempo para llegar al mercado	Similar al del envío directo.
Visibilidad del pedido	Similar a la del envío directo.
Retornabilidad	Similar a la del envío directo.

La retornabilidad es similar a la del envío directo. Los problemas al manejar devoluciones son probables, y la cadena de suministro inversa seguirá siendo cara y difícil de implementar, como con el envío directo.

El desempeño del almacenamiento en el sitio del fabricante con consolidación en tránsito se compara con el del envío directo como se muestra en la tabla 4-2. Las ventajas principales de la consolidación en tránsito sobre el envío directo son un bajo costo de transporte y la experiencia del cliente mejorada. La desventaja principal es el esfuerzo adicional durante la consolidación misma. Dadas sus características de desempeño, el almacenamiento en el sitio del fabricante con consolidación en tránsito es más adecuado para productos de alto valor y baja a mediana demanda que el detallista recibe de un número limitado de fabricantes. Comparada con el envío directo, la consolidación en tránsito requiere una alta demanda de cada fabricante (no necesariamente de cada producto) para que sea eficaz. Cuando hay demasiadas fuentes, la consolidación en tránsito puede ser difícil de coordinar e implementar; se implementa mejor si no hay más de cuatro o cinco lugares de aprovisionamiento. La consolidación en tránsito de una PC Dell con un monitor Sony es apropiada porque la variedad del producto es alta, y hay pocos lugares de aprovisionamiento con relativamente alta demanda total.

Almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería

Con esta opción los fabricantes no mantienen inventario en las fábricas sino que los distribuidores/minoristas lo mantienen en almacenes intermedios, y se utilizan empresas de mensajería para transportar productos de los almacenes intermedios al cliente final. Amazon y distribuidores industriales como W. W. Grainger y McMaster-Carr han utilizado este método combinado con envío directo desde el fabricante (o distribuidor). La información y los flujos del producto cuando se utiliza almacenamiento en la instalación del distribuidor con entrega realizada por una empresa de mensajería se muestran en la figura 4-8.

Con respecto al almacenamiento en la instalación del fabricante, el del distribuidor requiere un nivel más alto de inventario debido a la pérdida de agregación. Desde la perspectiva del inventario, el almacenamiento en el sitio del distribuidor tiene sentido para productos con demanda un tanto alta. Esto se ve en las operaciones tanto de Amazon como de W. W. Grainger. Conservan sólo artículos de lento a rápido movimiento en sus almacenes, con pocos artículos de muy lento movimiento almacenados más adelante en la cadena. En algunos casos, el aplazamiento de la diferenciación del producto se puede implementar con el almacenamiento en el sitio del distribuidor, pero requiere que el almacén desarrolle alguna capacidad de ensamble. Sin embargo, el almacenamiento en el sitio del distribuidor requiere mucho menos inventario que

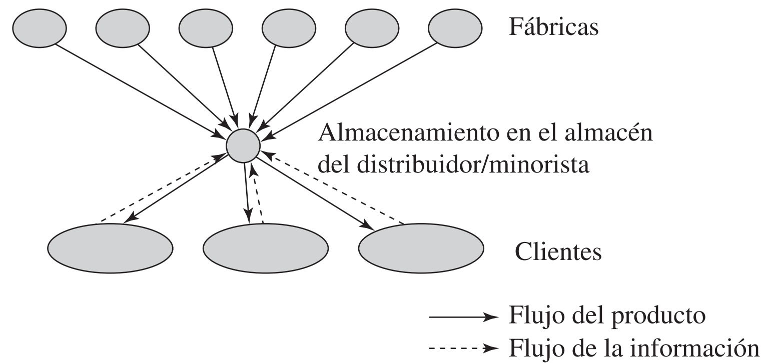


FIGURA 4-8 Almacenamiento en el almacén del distribuidor con entrega por mensajería

una red minorista. Amazon realiza cerca de diez rotaciones de inventario al año con el centro de almacenamiento, mientras que Barnes & Noble realiza hace unas tres rotaciones con las tiendas minoristas.

Los costos de transporte son un poco más bajos para el almacenamiento con el distribuidor en comparación con el almacenamiento con el fabricante porque se puede emplear un modo de transporte económico (por ejemplo, camiones de carga) para envíos de entrada al almacén más cercano al cliente. A diferencia del almacenamiento con el fabricante, el cual puede implicar múltiples envíos para entregar el pedido de un cliente con múltiples artículos, el almacenamiento con el distribuidor permite que los pedidos de salida que se van a entregar a un cliente se junten en un solo envío, lo que reduce aún más el costo de transporte. El almacenamiento con el distribuidor permite ahorrar en el transporte de artículos de movimiento rápido con respecto al almacenamiento con el fabricante.

Comparados con los costos de almacenamiento con el fabricante, los costos de instalaciones (de manejo de almacén) son un poco más altos con el almacenamiento con el distribuidor debido a la pérdida de agregación. Los costos de procesamiento y manejo son comparables a los del almacenamiento con el fabricante a menos que la fábrica sea capaz de realizar las entregas directamente al cliente desde la línea de producción. En ese caso el almacenamiento con el distribuidor tiene altos costos de procesamiento. Desde una perspectiva de costos de instalaciones, el almacenamiento con el distribuidor no es apropiado para artículos de movimiento extremadamente lento.

La infraestructura de información requerida en el caso de almacenamiento con el distribuidor es significativamente menos compleja que la que se requiere en el caso del almacenamiento con el fabricante. El almacén del distribuidor sirve como intermediario entre el cliente y el fabricante, y reduce la necesidad de coordinar a ambos en su totalidad. Se requiere la visibilidad en tiempo real entre los clientes y el almacén, pero no entre el cliente y el fabricante. La visibilidad entre el almacén del distribuidor y el fabricante se puede lograr a un costo mucho menor que la visibilidad en tiempo real entre el cliente y el fabricante.

El tiempo de respuesta en el almacenamiento con el distribuidor es mejor que bajo el almacenamiento con el fabricante, ya que los almacenes del primero están, en promedio, más cerca de los clientes, y todo el pedido se agrega en el almacén antes de enviarlo. Amazon, por ejemplo, procesa la mayoría de artículos guardados en el almacén en un día y luego se requieren de tres a cinco días hábiles por transporte terrestre para que el pedido le llegue al cliente. W. W. Grainger procesa los pedidos del cliente el mismo día y cuenta con suficientes almacenes para surtir la mayoría de los pedidos al siguiente día por transporte terrestre. Tener existencias almacenadas limita hasta cierto grado la variedad de los productos que se pueden ofrecer. W. W. Grainger no guarda artículos de muy baja demanda en su almacén, y cuenta con los fabricantes para el envío directo de los productos al cliente. La comodidad para el cliente es alta cuando se utiliza el almacenamiento con el distribuidor, ya que le llega un solo envío en respuesta a su pedido. El tiempo para llegar al mercado bajo almacenamiento con el distribuidor es un poco más alto que con el fabricante debido a la necesidad de almacenar otra etapa en la cadena de suministro. La visibilidad del pedido llega a ser más fácil que con el almacenamiento con el fabricante porque al hacer un solo envío del almacén al cliente, sólo interviene directamente una etapa de la cadena de suministro para surtir el pedido del cliente. La retornabilidad es mejor que con el almacenamiento con el fabricante porque todas las devoluciones pueden procesarse en el almacén. El cliente también tiene que devolver sólo un paquete, aun cuando los artículos provengan de varios fabricantes.

Tabla 4-3 Características de desempeño del almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería

Factor de costo	Desempeño
Inventario	Mejor que el del almacenamiento con el fabricante. La diferencia no es grande con artículos de rápido movimiento pero puede serlo con artículos de lento movimiento.
Transporte	Menor que el del almacenamiento con el fabricante. La reducción es máxima con artículos de rápido movimiento.
Instalaciones y manejo	Un poco más alto que el del almacenamiento con el fabricante. La diferencia puede ser grande con artículos de muy lento movimiento.
Información	Infraestructura más simple comparada con la del almacenamiento con el fabricante.
Factor de servicio	**Desempeño**
Tiempo de respuesta	Más rápido que con el del almacenamiento con el fabricante.
Variedad del producto	Menor que la del almacenamiento con el fabricante.
Disponibilidad del producto	Costo más alto para proporcionar el mismo nivel de disponibilidad que la del almacenamiento con el fabricante.
Experiencia del cliente	Mejor que la del almacenamiento con el fabricante con envío directo.
Tiempo para llegar al mercado	Más alto que el del almacenamiento con el fabricante.
Visibilidad del pedido	Más fácil que la del almacenamiento con el fabricante.
Retornabilidad	Más fácil que la del almacenamiento con el fabricante.

El desempeño del almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería se resume en la tabla 4-3. El almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería es muy adecuado para artículos de lento a rápido movimiento. El almacenamiento con el distribuidor también tiene sentido cuando los clientes desean una entrega más rápida que la ofrecida por el almacenamiento con el fabricante, pero que no la necesitan de inmediato. El almacenamiento con el distribuidor puede manejar un nivel más alto de variedad que una cadena de tiendas minoristas.

Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio

La entrega a domicilio se refiere a que el distribuidor/minorista entrega el producto en el domicilio del cliente en lugar de utilizar una empresa de paquetería. Webvan, Peapod y Albertsons han utilizado la entrega a domicilio en la industria abarrotera. Amazon ha lanzado la "entrega exprés local" para entregas en el mismo día a clientes. Compañías como Kozmo y Urbanfetch trataron de establecer redes de entrega a domicilio de algunos productos pero no sobrevivieron. La industria de refacciones automotrices es una en la que el almacenamiento con el distribuidor y entrega a domicilio es el modelo dominante. Para los distribuidores es demasiado costoso mantener todas las refacciones en el inventario. Por consiguiente, los fabricantes de equipo original (OEMs, *Original Equipment Manufacturers*) tienden a mantener la mayoría de las refacciones en un centro de distribución local, ubicado por lo general a no más de dos horas en auto de sus distribuidores y a menudo administrados por un tercero. El centro de distribución local es responsable de surtir las refacciones requeridas a un conjunto de distribuidores y realiza múltiples entregas al día. A diferencia de la entrega por paquetería, la entrega a domicilio requiere que el almacén del distribuidor esté mucho más cerca del cliente. Dado el radio limitado que se puede atender con la entrega a domicilio, se requieren más almacenes que cuando se utiliza el servicio de paquetería. El almacenamiento en un centro de distribución con una red de entrega a domicilio se muestra en la figura 4-9.

El almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio requiere niveles de inventario más altos que las demás opciones (excepto las tiendas minoristas) debido a su menor nivel de agregación. Desde la perspectiva del inventario, el almacenamiento en un centro de distribución con entrega a domicilio es adecuado para artículos de rápido movimiento que se requieren con rapidez y para los cuales es benéfico un cierto nivel de agregación. Las refacciones automotrices requeridas por los distribuidores de autos se ajustan a esta descripción.

Entre todas las redes de distribución, los costos de transporte son elevados para entrega a domicilio cuando se entregan pedidos individuales. Esto se debe a que las empresas de paquetería agregan entregas de muchos minoristas y son capaces de obtener mejores economías de escala que están disponibles para que

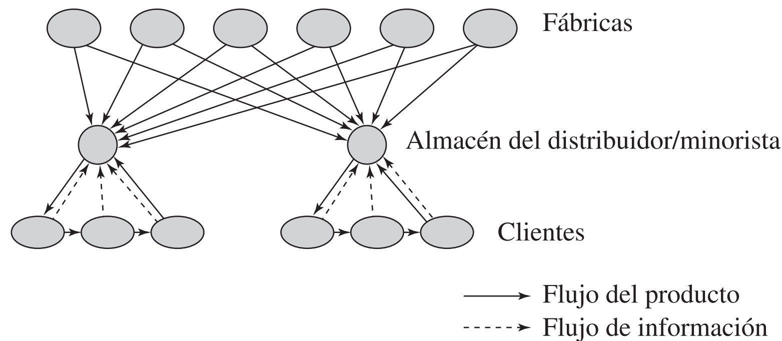


FIGURA 4-9 Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio.

un distribuidor/minorista intente la entrega a domicilio. Los costos de entrega (incluyendo el transporte y procesamiento) pueden ser de más de $20 por cada entrega a domicilio en la industria abarrotera. La entrega a domicilio puede ser menos cara en ciudades grandes y densas. Los costos de transporte también pueden justificarse en el caso de productos a granel para los que el cliente está dispuesto a pagar la entrega a domicilio. La entrega a domicilio de agua embotellada y grandes sacos de arroz ha demostrado ser bastante exitosa en China, donde la alta densidad de la población ha ayudado a reducir los costos de entrega. Los costos de transporte de entrega a domicilio se justifican mejor en entornos donde el cliente compra en grandes cantidades. Esto es raro para clientes individuales, pero negocios como los concesionarios de automóviles que compran grandes cantidades de refacciones a diario pueden justificar la entrega a domicilio. En el caso de clientes individuales se puede justificar para artículos a granel como garrafones de cinco galones de agua en Estados Unidos y grandes sacos de arroz en China. En cada caso, la entrega a domicilio es más barata y más cómoda que si los clientes van por sus propios garrafones o sacos.

Con esta opción los costos de las instalaciones son un poco más bajos que los de una red con tiendas minoristas, pero mucho más altos que los de almacenamiento con el fabricante o con el distribuidor con entrega por paquetería. Sin embargo, los costos de procesamiento son mucho más altos que los de una red de tiendas minoristas porque se elimina la participación del cliente. Una tienda de abarrotes que utiliza la entrega a domicilio realiza todo el procesamiento hasta que el producto se entrega en el domicilio del cliente, a diferencia de un supermercado, donde el cliente hace mucho más trabajo.

La infraestructura de información con entrega a domicilio es similar a la del almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería. Sin embargo, requiere la capacidad adicional de programar las entregas.

Los tiempos de respuesta son más rápidos que cuando se utilizan servicios de paquetería. Kozmo y Urbanfetch trataron de proporcionar entregas en el mismo día, mientras los abarroteros en línea suelen entregar al día siguiente. La variedad del producto en general es más baja que la del almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería. El costo de proporcionar disponibilidad de producto es más alto que el de cada opción diferente de las tiendas minoristas. La experiencia del cliente puede ser buena con esta opción, en particular en el caso de artículos a granel difíciles de llevar. El tiempo para llegar al mercado es incluso más alto que para el almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería, ya que el nuevo producto tiene que penetrar más hondo antes de que esté disponible para el cliente. La visibilidad del pedido deja de ser importante dado que las entregas se hacen en 24 horas. El seguimiento del pedido cobra importancia para manejar excepciones en el caso de pedidos incompletos no entregados. De todas las opciones explicadas, la retornabilidad es mejor con la entrega a domicilio, porque los camiones que hacen las entregas también pueden recoger las devoluciones de los clientes. Las devoluciones son aún más caras de manejar que en una tienda minorista, donde un cliente puede devolver el producto.

Las características de desempeño del almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio se resumen en la tabla 4-4. En áreas con costos de mano de obra altos, la entrega a domicilio para clientes individuales es difícil de justificar con base en la eficiencia o el margen mejorado. Se justifica sólo si existe un segmento de clientes suficientemente grande que deseen pagar por esta comodidad. En ese caso hay que esforzarse para acoplar la entrega a domicilio con una red de distribución existente para aprovechar las economías de escala y mejorar la utilización. Un ejemplo es el uso de Albertson de las tiendas de abarrotes

Tabla 4-4 Características de desempeño del almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio

Factor de costo	Desempeño
Inventario	Más alto que el del almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería.
Transporte	Costo muy alto dadas las economías de escala mínimas. Más alto que el de cualquier otra opción de distribución.
Instalaciones y manejo	Costos de instalaciones más altos que los del almacenamiento con el fabricante o el almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería, pero más bajos que los de una cadena de tiendas minoristas.
Información	Similar a al del almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería.
Factor de servicio	**Desempeño**
Tiempo de respuesta	Muy rápido, Entrega el mismo día o al día siguiente.
Variedad del producto	Un poco menor que la del almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería, pero más grande que las tiendas minoristas.
Disponibilidad del producto	Más caro para proporcionar la disponibilidad que con cualquier otra opción excepto las tiendas minoristas.
Experiencia del cliente	Muy buena, en particular con artículos a granel.
Tiempo para llegar al mercado	Un poco más alto que el del almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería.
Visibilidad del pedido	Menos importante y más fácil de implementar que con el almacenamiento con el fabricante o el almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería.
Retornabilidad	Más fácil de implementar que ninguna otra opción. Más difícil y más cara que con una red de tiendas minoristas.

y mano de obras existentes para proporcionar la entrega a domicilio. Una parte de la tienda de abarrotes funciona como centro de surtido de pedidos en línea y como centro de reabastecimiento de la tienda. Esto ayuda a mejorar la utilización y a reducir el costo de proporcionar este servicio. La entrega a domicilio se justifica si los pedidos del cliente son lo bastante grandes para generar economías de escala, y si los clientes desean pagar por esta comodidad. Peapod ha cambiado sus políticas de fijación de precios para reflejar esta idea. El tamaño mínimo del pedido es de $60 con un cargo por entrega de $9.95, y de $6.95 para pedidos de más de $100. Peapod ofrece descuentos en entregas durante periodos de poca actividad dependiendo de su programa de entregas. La entrega a domicilio es más fácil de justificar cuando el cliente es un negocio, como un distribuidor de automóviles que compra grandes cantidades.

Almacenamiento con el fabricante o distribuidor con recolección por parte del cliente

En este enfoque el inventario se guarda en el almacén del fabricante o del distribuidor, pero los clientes colocan sus pedidos en línea o por teléfono y luego se dirigen a puntos de recolección designados para recoger su mercancía. Los pedidos se envían desde el almacén a los puntos de recolección según se requiera. Algunos ejemplos incluyen 7dream.com y Otoriyose-bin, operadas por Seven-Eleven Japan, que permiten a los clientes recoger pedidos colocados en línea en una tienda designada. Un ejemplo de negocio a negocio (B2B) es W. W. Grainger, cuyos clientes pueden recoger sus pedidos en una de las tiendas minoristas de W. W. Grainger. Algunos artículos se mantienen en el sitio de recolección, mientras que otros pueden provenir de un almacén central. En el caso de 7dream.com, el pedido se entrega desde el almacén de un fabricante o distribuidor hasta el sitio de recolección. En 2007, Walmart lanzó su servicio "Sitio a Tienda" que permite a los clientes pedir miles de productos en línea en walmart.com que luego se envían sin costo a una tienda Walmart local. Los artículos llegan a las tiendas en siete a diez días hábiles después de que se procesa el pedido, y los clientes reciben una notificación por correo electrónico cuando su pedido está listo para recogerlo.

Los flujos de la información y el producto que se muestran en la figura 4-10 son similares a los de la red de Seven-Eleven Japan. Seven-Eleven cuenta con centros de distribución donde el producto proveniente

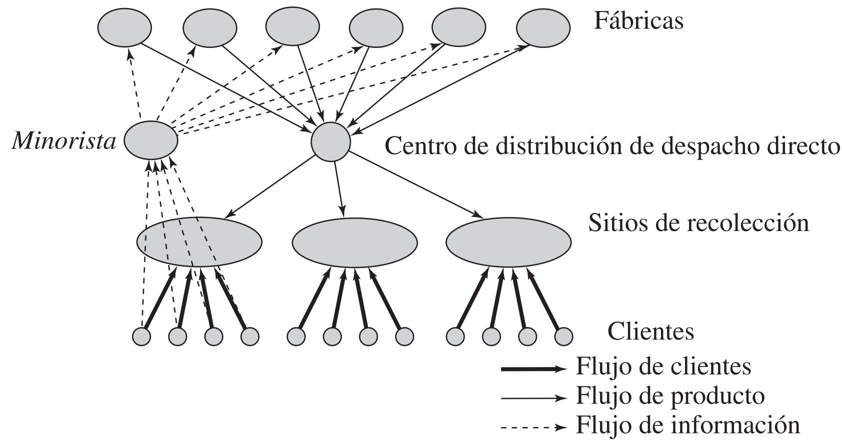


FIGURA 4-10 Almacenamiento en el almacén del fabricante o distribuidor con recolección por parte del cliente.

de los fabricantes se despacha directamente a diario a las tiendas minoristas. Un minorista en línea que entrega un pedido a través de Seven-Eleven puede considerarse como uno de los fabricantes con entregas directas a la tienda Seven-Eleven apropiada. Servir como centro de recolección de pedidos en línea permite a Seven-Eleven mejorar el uso de sus activos logísticos existentes.

Los costos de inventario que utilizan este enfoque pueden mantenerse bajos, con almacenamiento en el almacén del fabricante o el distribuidor para explotar la agregación. W. W. Grainger mantiene su inventario de artículos de movimiento rápido en sitios de recolección, mientras que los de lento movimiento se guardan en un almacén central o en algunos casos en la instalación del fabricante.

El costo de transporte es menor que con cualquier otra solución que utilice servicios de paquetería debido a que la agregación es posible cuando se entregan pedidos en un sitio de recolección. Esto permite el uso de camiones llenos o casi llenos para transportar pedidos al sitio de recolección. Para una compañía como Seven-Eleven Japan, el incremento marginal del costo de transporte es pequeño porque los camiones ya entregan en las tiendas, y su uso puede mejorarse con la inclusión de pedidos en línea. Como resultado, Seven-Eleven Japan permite que los clientes recojan pedidos sin cobro por envío.

Los costos de instalaciones son altos si se tienen que construir nuevos sitios de recolección. Una solución que utiliza los sitios existentes puede reducir los costos de instalaciones adicionales. Éste, por ejemplo, es el caso con 7dream.com, Walmart y W. W. Grainger, que ya cuentan con tiendas. Los costos de procesamiento en el sitio de recolección son altos porque cada pedido debe corresponder a un cliente específico cuanto éste llega. La creación de esta capacidad puede incrementar significativamente los costos de procesamiento si no se proporcionan sistemas de almacenamiento e información apropiados. El costo de procesamiento incrementado y los errores potenciales en el sitio de recolección son los mayores obstáculos para el éxito de este enfoque.

Se requiere una significativa infraestructura de información para que el pedido esté visible hasta que el cliente lo recoja; y a la vez, una buena coordinación entre el minorista, el sitio de almacenamiento y el sitio de recolección.

En este caso se puede lograr un tiempo de respuesta comparable al de servicios de paquetería y también se puede proporcionar una variedad y disponibilidad comparables a las de cualquier opción de almacenamiento con el fabricante o el distribuidor. Se pierde algo de la experiencia del cliente, porque a diferencia de las otras opciones analizadas, los clientes deben recoger sus propios pedidos. Además, los clientes que no desean pagar en línea pueden pagar en efectivo con esta opción. En países como Japón, donde Seven-Eleven cuenta con más de 10,000 tiendas, se puede argumentar que la pérdida de comodidad para el cliente es pequeña porque la mayoría de los clientes están cerca de un centro de recolección y pueden recoger un pedido cuando les convenga. En algunos casos esta opción se considera más conveniente porque no requiere que el

Tabla 4-5 Características de desempeño de una red con sitios de recolección para el consumidor

Factor de costo	**Desempeño**
Inventario	Puede igualar el de cualquier otra opción, dependiendo de la ubicación del inventario.
Transporte	Más bajo que el de servicios de paquetería, en especial si se utiliza una red de entregas existente.
Instalaciones y manejo	Los costos de instalaciones pueden ser altos si se tienen que construir nuevas instalaciones o bajos si se utilizan las instalaciones existentes. El incremento del costo de manejo en el sitio de recolección puede ser significativo.
Información	Inversión significativa en la infraestructura requerida.
Factor de servicio	**Desempeño**
Tiempo de respuesta	Similar al de entrega por paquetería con almacenamiento con el fabricante o con el distribuidor. Entrega el mismo día posible para artículos almacenados en el sitio de recolección.
Variedad del producto	Similar a la de otras opciones de almacenamiento con el fabricante o con el distribuidor.
Disponibilidad del producto	Similar a la de otras opciones de almacenamiento con el fabricante o con el distribuidor.
Experiencia del cliente	Menor que con otras opciones porque no hay entrega a domicilio. La experiencia es sensible a la capacidad del sitio de recolección.
Tiempo para llegar al mercado	Similar al de las opciones de almacenamiento con el fabricante.
Visibilidad del pedido	Difícil pero esencial.
Retornabilidad	Un poco más fácil, dado que el sitio de recolección puede encargarse de las devoluciones.

cliente esté en casa en el momento de la entrega. El tiempo para que los productos nuevos lleguen al mercado puede ser tan corto como con el almacenamiento con el fabricante.

La visibilidad del pedido es extremadamente importante para las recolecciones realizadas por los clientes. El cliente debe ser informado del arribo del pedido, el cual debe ser fácil de identificar una vez que el cliente llegue a recogerlo. Tal sistema es difícil de implementar porque requiere la integración de varias etapas en la cadena de suministro. Potencialmente, las devoluciones pueden ser manejadas en el sitio de recolección lo que facilita que los clientes lo hagan. Desde una perspectiva del transporte, los flujos de devoluciones se pueden manejar utilizando los camiones de entrega.

Las características de desempeño del almacenamiento con el fabricante o con el distribuidor con sitios de recolección para los clientes se resumen en la tabla 4-5. Las ventajas principales de una red como ésta, son que puede reducir el costo de entrega y ampliar la variedad de los productos vendidos, así como el número de clientes atendidos en línea. El mayor obstáculo es el costo de manejo incrementado y la complejidad en el sitio de recolección. Es probable que tal red sea más eficaz si las tiendas minoristas existentes se utilizan como sitios de recolección, ya que este tipo de red mejora las economías con la infraestructura existente. En particular, tal red puede ser eficaz para empresas como Seven-Eleven Japan, Walmart, y W. W. Grainger, que cuentan con una red de tiendas y un negocio en línea. Desafortunadamente, tales tiendas minoristas suelen estar diseñadas para que el cliente realice la recolección y requieren desarrollar la capacidad de recolección por parte del cliente de un pedido específico.

Almacenamiento en la tienda minorista con recolección realizada por el cliente

En esta opción, a menudo considerada como el tipo más tradicional de cadena de suministro, el inventario se almacena localmente en tiendas minoristas. Los clientes entran a la tienda o colocan un pedido en línea o por teléfono y lo recogen en la tienda. Ejemplos de compañías que ofrecen múltiples opciones de colocación de pedidos incluyen Albertsons, que utiliza una parte de su instalación como tienda de abarrotes y otra como centro de colocación de pedidos en línea (los clientes pueden entrar a la tienda o colocar un pedido en línea).

Un ejemplo de negocio a negocio es W. W. Grainger: los clientes pueden pedir en línea, por teléfono, o en persona, y recoger su pedido en una las tiendas de W. W. Grainger. Albertsons mantiene su inventario en el sitio de recolección; W. W. Grainger almacena algunos artículos en los sitios de recolección, mientras que otros pueden provenir de un almacén central.

El almacenamiento local incrementa los costos de inventario por la falta de agregación. Sin embargo, con artículos de rápido a muy rápido movimiento existe un incremento marginal del inventario incluso con almacenamiento local. Albertsons lo utiliza porque la mayoría de sus productos son de relativamente rápido movimiento y en todo caso se almacenan en el supermercado. Asimismo, W. W. Grainger mantiene su inventario de artículos de rápido movimiento en los sitios de almacenamiento, mientras que los de lento movimiento se guardan en un almacén central.

El costo de transporte es mucho menor que con otras soluciones porque se pueden usar modos de transporte baratos para reabastecer el producto en la tienda minorista. Los costos de instalaciones son altos porque se requieren muchas instalaciones. Se necesita una infraestructura de información mínima si los clientes entran a la tienda y colocan pedidos. Sin embargo, para pedidos en línea se requiere una significativa infraestructura de información para que el pedido tenga visibilidad hasta que el cliente lo recoja.

Se pueden lograr buenos tiempos de respuesta con este sistema debido al almacenamiento local. Por ejemplo, tanto Albertsons como W. W. Grainger ofrecen recolección el mismo día en tiendas minoristas. La variedad del producto almacenado localmente es menor que con otras opciones. Proporcionar un alto nivel de disponibilidad del producto es más caro que con todas las demás opciones. La experiencia del cliente depende de si le gusta o no comprar. El tiempo para llegar al mercado es más alto con esta opción porque el producto nuevo tiene que penetrar toda la cadena de suministro antes de que esté disponible para los clientes. La visibilidad del pedido es extremadamente importante para las recolecciones realizadas por los clientes cuando los pedidos se colocan en línea o por teléfono. Las devoluciones se pueden manejar en el sitio de recolección. En general, con esta opción la retornabilidad es bastante buena.

Las características de desempeño de una red con sitios de recolección para el cliente y almacenamiento en la tienda minorista local se resumen en la tabla 4-6. La ventaja principal de una red con almacenamiento en la tienda es que puede reducir los costos de entrega y responder más rápido que otras redes. La gran desventaja es que los costos de instalaciones e inventario se incrementan. Tal red es más adecuada para artículos de rápido movimiento, o productos por los que los clientes valoran la respuesta rápida.

Tabla 4-6 Características de desempeño del almacenamiento en la tienda minorista en sitios de recolección realizada por el cliente

Factor de costo	Desempeño
Inventario	Más alto que con otras opciones.
Transporte	Menor que con otras opciones.
Instalaciones y manejo	Más alto que con otras opciones. El incremento del costo de manejo en el sitio de recolección puede ser significativo para pedidos colocados en línea o por teléfono.
Información	Se requiere alguna inversión en la infraestructura para pedidos en línea o por teléfono.
Factor de servicio	**Desempeño**
Tiempo de respuesta	Recolección posible el mismo día (inmediata) de artículos almacenados localmente en el sitio de recolección.
Variedad del producto	Menor que todas las demás opciones.
Disponibilidad del producto	Más cara de proporcionar que con todas las demás opciones.
Experiencia del cliente	Relacionada con si el cliente considera la compra una experiencia positiva o negativa.
Tiempo para llegar al mercado	El más alto entre las opciones de distribución.
Visibilidad del pedido	Trivial en el caso de pedidos realizados en la tienda. Difícil, pero esencial, para pedidos realizados en línea o por teléfono.
Retornabilidad	Más fácil que con otras opciones porque la tienda minorista puede proporcionar un sustituto.

Selección del diseño de una red de distribución

El diseñador de una red debe considerar las características del producto y los requerimientos de la red al decidir sobre una red de entrega apropiada. Las diversas redes antes consideradas tienen diferentes fortalezas y debilidades. En la tabla 4-7 se clasifican las diversas redes de entrega por su interrelación respecto a diferentes dimensiones de desempeño. El valor 1 indica el mejor desempeño a lo largo de una dimensión dada; conforme el desempeño relativo empeora, el número de clasificación se eleva.

Sólo las compañías nicho terminan utilizando una sola red de distribución; la mayoría funcionan mejor con una combinación de redes de entrega. La combinación utilizada depende de las características del producto y de la posición estratégica que la empresa está buscando. La idoneidad de los diferentes diseños de entrega (desde una perspectiva de la cadena de suministro) en varias situaciones se muestra en la tabla 4-8.

Un excelente ejemplo de una red híbrida es la de W. W. Grainger, que combina todas las opciones antes mencionadas en su red de distribución. Sin embargo, la red está diseñada para conjuntar las características del producto y las necesidades del cliente. Los artículos de rápido movimiento y urgencia se almacenan localmente, y los clientes pueden recogerlos o pedir que se los envíen según la urgencia. Los artículos de lento movimiento se almacenan en un centro de distribución nacional y se envían al cliente en uno o dos días. Los artículos de muy lento movimiento en general se entregan directamente desde el fabricante y su tiempo de espera es más largo. Amazon utiliza otra red híbrida, la cual conserva los artículos de rápido movimiento en la mayoría de sus almacenes, los de lento movimiento en pocos almacenes, y los de los de muy lento movimiento pueden entregarse directamente desde los distribuidores o las editoriales.

Ahora podemos reconsiderar los ejemplos de la industria de las computadoras que se expusieron al principio del capítulo. La decisión de Gateway de crear una red de tiendas minoristas sin aprovechar ninguna de las ventajas de una cadena de suministro que una red como esa ofrece fue equivocada. Para explotar plenamente los beneficios de la red de tiendas minoristas, Gateway debió haber almacenado sus configuraciones estándar (que probablemente tenían una alta demanda) en las tiendas minoristas, con todas las demás configuraciones entregadas directamente desde la fábrica (tal vez con recolección local en las tiendas minoristas si ello era económico); en cambio, entregaba todas las configuraciones desde la fábrica. Apple abrió varias tiendas minoristas y en la actualidad mantiene productos a la venta en estas tiendas. Esto tiene sentido dada la escasa variedad y alta demanda de los productos Apple; de hecho, Apple ha experimentado un crecimiento consistente en sus ventas y utilidades con sus tiendas minoristas.

Tabla 4-7 Desempeño comparativo de diseños de red de entrega

	Almacenamiento en la tienda minorista con recolección realizada por el cliente	Almacenamiento con el fabricante con envío directo	Almacenamiento con el fabricante con consolidación en tránsito	Almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería	Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio	Almacenamiento con el fabricante con recolección
Tiempo de respuesta	1	4	4	3	2	4
Variedad del producto	4	1	1	2	3	1
Disponibilidad del producto	4	1	1	2	3	1
Experiencia del cliente	Varía de 1 a 5	4	3	2	1	5
Tiempo para llegar al mercado	4	1	1	2	3	1
Visibilidad del pedido	1	5	4	3	2	6
Retornabilidad	1	5	5	4	3	2
Inventario	4	1	1	2	3	1
Transporte	1	4	3	2	5	1
Instalación y manejo	6	1	2	3	4	5
Información	1	4	4	3	2	5

Nota: El valor 1 corresponde al desempeño más fuerte y el valor 6 al más débil.

Tabla 4-8 Desempeño de redes de entrega con diferentes características de productos/clientes

	Almacenamiento en la tienda minorista con recolección realizada por el cliente	Almacenamiento con el fabricante con envío directo	Almacenamiento con el fabricante con consolidación en tránsito	Almacenamiento con el distribuidor con entrega por paquetería	Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio	Almacenamiento con el fabricante con recolección
Producto de alta demanda	+2	–2	–1	0	+1	–1
Producto de mediana demanda	+1	–1	0	+1	0	0
Producto de baja demanda	–1	+1	0	+1	–1	+1
Producto de muy baja demanda	–2	+2	+1	0	–2	+1
Muchas fuentes de producto	–1	+2	+1	+1	0	+2
Producto de alto valor	–1	+2	+1	+1	0	+2
Respuesta rápida deseada	+2	–2	–2	–1	+1	–2
Alta variedad del producto	–1	+2	0	+1	0	+2
Poco esfuerzo del cliente	–2	+1	+2	+2	+2	–1

Nota: +2 = muy adecuado; +1 algo adecuado; 0 = neutro; –1 = algo inadecuado; –2 = muy inadecuado.

4.4 VENTAS EN LÍNEA Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN

En esta sección utilizamos las ideas que ya explicamos en este capítulo para ver cómo la Internet ha afectado la estructura y desempeño de varias redes de distribución. El objetivo es entender qué impulsó la exitosa introducción de las ventas en línea en algunas redes y en otras no, y cómo es probable que evolucionen estas redes.

Del mismo modo que consideramos las redes de distribución, elaboramos una tarjeta de puntuación basada en cómo las ventas en línea afectan la capacidad de una cadena de suministro de satisfacer las necesidades del cliente y el costo de satisfacerlas. A continuación detallamos el contenido de cada categoría de tarjeta de puntuación.

Impacto de las ventas en línea en el servicio al cliente

Como con las redes antes consideradas, comenzamos el estudio de cómo las ventas en línea afectan los elementos de servicio al cliente como tiempo de respuesta, variedad del producto, disponibilidad, experiencia del cliente, tiempo para llegar al mercado, visibilidad y retornabilidad. También examinamos factores como las ventas directas y la capacidad de ofrecer precios flexibles que ayuden a las compañías a vender en línea.

TIEMPO DE RESPUESTA A LOS CLIENTES Cuando se venden productos físicos que no se pueden descargar por la red, las ventas en línea se tardan más en satisfacer la petición del cliente que una tienda minorista debido al tiempo de entrega implicado. Por consiguiente, es posible que los clientes que requieren un tiempo de respuesta corto no utilicen Internet para adquirir un producto. Sin embargo, no existe tal demora en el caso de productos de información. Internet ha facilitado el acceso casi instantáneo a películas, música y libros en formato digital.

VARIEDAD DEL PRODUCTO Una compañía que vende en línea comprende que para ella es más fácil ofrecer una gran selección de películas que para cualquier video club. Netflix ofrece una mucho mayor selección de películas que ninguna tienda de renta de videos. Para ofrecer la misma selección en una tienda se requeriría adquirir una instalación enorme con una cantidad de inventario igualmente grande.

DISPONIBILIDAD DEL PRODUCTO Al agregar su inventario, una compañía que vende en línea mejora la disponibilidad del producto. Una mejor información sobre las preferencias del cliente permite que una empresa que vende en línea amplíe la disponibilidad.

EXPERIENCIA DEL CLIENTE Las ventas en línea afectan la experiencia del cliente en términos de acceso, personalización y comodidad. A diferencia de la mayoría de las tiendas minoristas que están abiertas sólo durante las horas hábiles, Internet permite al cliente colocar un pedido a cualquier hora. De hecho, W. W. Grainger ha experimentado un aumento repentino de las ventas en línea después de que sus tiendas cerraron. Las ventas en línea también permiten a una empresa tener acceso a clientes que geográficamente están distantes. Con Intenert, una pequeña tienda minorista especializada establecida cerca de Chicago puede llegar a clientes por todo Estados Unidos, o incluso el mundo. El acceso a las ventas en línea se ve limitado sólo por el acceso de los clientes a Internet.

Internet ofrece la oportunidad de crear una experiencia de compra personalizada para cada cliente. Amazon exhibe productos relacionados con los que sus clientes han comprado o buscado recientemente. Las empresas enfocadas en la personalización masiva pueden usar Internet para ayudar a los clientes a seleccionar un producto adaptado a sus necesidades. Por ejemplo, Dell permite que los clientes personalicen sus computadoras utilizando las opciones disponibles en el sitio Webb de Dell.

Tanto para las compañías como para los consumidores, las ventas en línea pueden incrementar la facilidad con que se realiza un negocio. Los clientes no tienen que salir de su casa o trabajo para realizar una compra. Para muchas compañías que venden en línea, como Peapod, la información de compras pasadas se utiliza para acelerar significativamente la colocación de pedidos por parte del cliente.

MENOR TIEMPO PARA LLEGAR AL MERCADO Una empresa puede introducir un producto nuevo con más rapidez en línea en comparación con los canales físicos. Una empresa que vende computadoras personales a través de canales físicos debe producir suficientes unidades para llenar los anaqueles de sus distribuidores y minoristas antes de que comience a ver ingresos por el nuevo producto. Por el contrario, una empresa que vende en línea, pone un producto nuevo a la disposición en línea en cuanto la primera unidad está lista para ser producida. Esto es evidente en walmart.com, donde salen a la venta grandes televisores nuevos mucho antes de que se vendan en las tiendas Walmart.

VISIBILIDAD DEL PEDIDO Internet permite ver el estado del pedido. Desde la perspectiva del cliente, es crucial contar con esta visibilidad porque un pedido en línea no tiene ningún equivalente físico a la compra de un artículo en una tienda minorista.

RETORNABILIDAD La retornabilidad es más difícil con los pedidos en línea, que generalmente llegan desde un almacén centralizado; es mucho más fácil devolver un producto comprado en una tienda. Es probable que la proporción de devoluciones sea mucho mayor para pedidos en línea porque los clientes no pueden tocar y sentir el producto antes de comprarlo. Por tanto, la operación en línea incrementa el costo de los flujos inversos.

VENTAS DIRECTAS A CLIENTES Internet permite a los fabricantes y a otros miembros de la cadena de suministro que no tienen contacto directo con los clientes en canales tradicionales, obtener retroalimentación y entablar una relación con ellos. Los canales de redes sociales como Facebook y Twitter permiten que las empresas lancen productos y promociones directamente a los clientes.

FIJACIÓN DE PRECIOS, PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y PROMOCIONES FLEXIBLES Dada la facilidad de cambiar los precios y el surtido en línea, Internet permite a una compañía que vende en línea administrar los ingresos generados por su portafolio de productos disponibles con mucha mayor eficacia que los canales tradicionales. La información sobre promociones puede llegar a los clientes de forma rápida y barata con Internet mientras el negocio tenga acceso a su red de clientes. Groupon es una compañía que ha utilizado las redes sociales en línea para hacer llegar promociones a los clientes.

TRANSFERENCIA DE FONDOS EFICIENTE Internet y los teléfonos celulares pueden mejorar la conveniencia y reducir el costo de cobranza, en especial cuando son sumas pequeñas. Por ejemplo, después del terremoto en Haití en 2010, Mercy Corps transfirió $40 automáticamente a la cuenta de cada haitiano; esto les permitió comprar alimentos en las tiendas locales, lo cual fue mucho más eficiente que manejar efectivo o comprobantes de depósito.

Impacto de las ventas en línea en el costo

Por el lado de los costos, las ventas en línea afectan los costos del inventario, instalaciones, transporte e información. Es importante observar que el impacto en cada caso no es necesariamente positivo.

INVENTARIO Las ventas en línea pueden reducir los niveles de inventario al agregar inventarios alejados de los clientes si la mayoría de éstos desean esperar la entrega. Por ejemplo, Amazon es capaz de agregar su inventario de libros en unos cuantos almacenes. Barnes & Noble, por el contrario, necesita más inventario ya que debe mantener una parte significativa de sus existencias en las tiendas. Un punto clave a observar es que el beneficio relativo de la agregación es mínimo con artículos de alta demanda y baja variabilidad, pero grande con artículos de baja demanda y alta variabilidad.

Las ventas en línea pueden reducir los inventarios de una empresa si se puede aplazar la introducción de variedad hasta después de que se recibe el pedido del cliente. El tiempo transcurrido entre el momento en que un cliente coloca el pedido y en el que espera la entrega, le ofrece a una compañía que vende en línea una ventana de oportunidad para implementar el aplazamiento. Por ejemplo, para sus ventas en línea Dell mantiene su inventario como componentes y ensambla sus computadoras después de que recibe el pedido del cliente. La cantidad de inventario de componentes requerida es mucho menor de lo que sería si Dell mantuviera sus inventarios como computadoras ensambladas. Asimismo, Amazon imprime algunos libros de bajo volumen sobre pedido, lo que le permite reducir sus inventarios.

INSTALACIONES En el análisis deben incluirse dos tipos básicos de costos de instalaciones: 1. los costos relacionados con el número y ubicación de las instalaciones en una red; 2. los costos asociados con las operaciones que ocurren en ellas. Una compañía que vende en línea puede reducir los costos de las instalaciones de la red centralizando las operaciones, con lo cual se reduce el número de instalaciones requeridas. Por ejemplo, Netflix es capaz de satisfacer la demanda de renta de DVDs con cerca de 50 almacenes, mientras que Blockbuster requería miles de videoclubes para atender a sus clientes.

En cuanto a los costos de operación corrientes, la participación del cliente en la selección y colocación del pedido permite a una compañía vender en línea para reducir sus costos de recursos respecto de la contratación de personal para el centro de llamadas. Las ventas en línea también pueden reducir los costos del surtido de pedidos de una compañía porque no tiene que surtir un pedido en cuanto llega. Una tienda minorista o supermercado debe contar con personal para sus mostradores de ventas, de modo que haya más cajas disponibles cuando haya más clientes comprando; como resultado, estas tiendas requieren más personal durante los periodos pico. Con las ventas en línea, si se mantiene un número razonable de pedidos sin surtir, la velocidad de surtido de pedidos puede hacerse significativamente más uniforme que la velocidad a la que llegan los pedidos, lo que reduce la carga pico para el surtido de pedidos y el costo y requerimientos de recursos.

Por el lado negativo, sin embargo, para algunos productos como los abarrotes las ventas en línea requieren que la empresa realice tareas que el cliente realiza en las tiendas minoristas, lo que afecta tanto los costos de manejo como los de transporte. En tales situaciones las compañías que venden en línea incurrirán en costos más altos de manejo y entrega que los de una tienda minorista. Por ejemplo, mientras que un cliente selecciona los artículos requeridos en un supermercado, un vendedor en línea como Peapod incurre en costos de manejo más altos porque sus empleados deben surtir el pedido desde los anaqueles del almacén y enviárselo al cliente a domicilio.

TRANSPORTE Internet ha reducido significativamente el costo de "transportar" productos de información en forma digital como películas, música y libros. Para productos no digitales, la agregación de inventarios incrementa el transporte de salida con respecto al de entrada. Comparado con un negocio que cuenta con muchas tiendas minoristas, un vendedor en línea con inventarios agregados tiende a tener costos de transporte más altos (a través de toda la cadena de suministro) por unidad, debido a los costos de salida incrementados.

INFORMACIÓN Un vendedor en línea puede compartir la información sobre la demanda a través de su cadena de suministro para mejorar la visibilidad. Internet también se puede utilizar para compartir información sobre planeación y pronóstico dentro de la cadena de suministro, además de mejorar la coordinación. Esto ayuda a reducir los costos totales de la cadena de suministro y permite equilibrar la oferta y la demanda. Aquí vemos que dicha información es un generador de muchos de los beneficios de las ventas en línea que ya hemos analizado.

Tabla 4-9 Tarjeta de puntuación de ventas en línea

Área	Impacto
Tiempo de respuesta	
Variedad del producto	
Disponibilidad del producto	
Experiencia del cliente	
Tiempo para llegar al mercado	
Visibilidad del pedido	
Ventas directas	
Precios, portafolio y promociones flexibles	
Transferencia de fondos eficiente	
Inventario	
Instalaciones	
Transporte	
Información	

Nota: +2 = muy positivo; +1 = positivo; 0 = neutro; –1 = negativo; –2 = muy negativo.

Sin embargo, una compañía que vende en línea incurre en costos de información adicionales para construir y mantener la infraestructura de información. Por ejemplo, cuando Amazon adquirió a Zappos, tuvo que agregar 120,000 descripciones de productos y más de dos millones de fotografías a su sitio Web.

La tarjeta de puntuación en blanco de negocio a negocio que se muestra en la tabla 4-9 puede ser utilizada por una empresa para resumir el impacto de las ventas en línea en cada una de las áreas previamente identificadas.

El valor de establecer ventas en línea no es el mismo en cada industria. Mientras que Amazon y Blue Nile han visto crecer sus utilidades después de comenzar a vender en línea, Webvan y muchos otros abarroteros en línea se han salido del negocio. La tarjeta de puntuación que aparece en la tabla 4-9 puede usarse para entender cómo afectan las ventas en línea el desempeño de diferentes redes de cadena de suministro. En la siguiente sección aplicamos la tarjeta de puntuación a varios ejemplos.

Utilización de las ventas en línea para vender computadoras: Dell

El canal de ventas en línea ha demostrado ser muy eficaz para la venta de computadoras, en 2009 representaba cerca de la mitad de las ventas en esta categoría. Después de más de una década de tremendo éxito de vender sus computadoras sólo en línea, en 2007 Dell comenzó a venderlas a través de tiendas minoristas como Walmart. Desde aproximadamente 2005, Apple ha logrado un considerable éxito con la venta de sus teléfonos y computadoras a través de tiendas minoristas. Esto plantea la pregunta del valor relativo del canal en línea y de las tiendas minoristas para vender hardware de computadoras.

Para esta comparación, lo hacemos utilizando la cadena de suministro de Dell para cada canal. Como se muestra en la figura 4-11, cuando Dell utiliza el canal en línea suele comenzar el ensamble después de

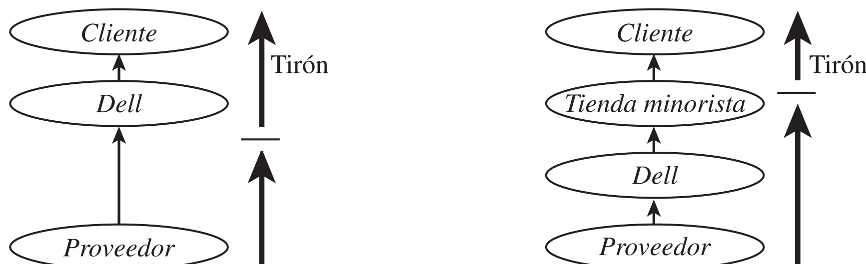


FIGURA 4-11 Cadenas de suministro para los canales de ventas en línea y minorista de Dell.

recibir el pedido de un cliente (que se muestra por el hecho de que Dell se encuentra por encima de la frontera empuje/tirón). Por el contrario, para el canal minorista Dell ensambla la computadora en la fase de empuje de la cadena de suministro con mucha anticipación a la venta final.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA DE COMPUTADORAS EN EL SERVICIO AL CLIENTE

La desventaja principal para Dell de vender computadoras por Internet es la tardanza para atender la petición del cliente. Aunque un largo tiempo de respuesta no es una cuestión muy negativa cuando se trata de computadoras personalizadas de alto valor, sí es una desventaja para Dell cuando trata de vender en línea sus configuraciones estandarizadas de bajo costo.

Dell es capaz de explotar la mayoría de las oportunidades que mejoran la capacidad de respuesta ofrecidas por Internet para computadoras personalizadas. La compañía utiliza Internet para ofrecer una amplia variedad de configuraciones de computadora personalizadas con el procesador, memoria, disco duro y otros componentes deseados. La personalización permite a Dell satisfacer a sus clientes al ofrecerles un producto que se acerca a sus requerimientos específicos. Las opciones de personalización son fáciles de mostrar en la Internet, lo que permite a Dell atraer clientes que valoran esta opción. Dell también utiliza páginas Web personalizadas que permiten a compañías grandes colocar pedidos. Evidentemente, todas estas capacidades no son tan valiosas para configuraciones estandarizadas.

Internet permite a compañías como Dell y Apple lanzar con rapidez al mercado los productos nuevos. Esto es particularmente importante en la industria de las computadoras y los teléfonos celulares, donde los productos tienen ciclos de vida cortos, incluso de unos cuantos meses. Mientras que Internet permite ofrecer un nuevo producto en cuanto se produce, el canal minorista requiere que toda la cadena de suministro se surta antes de que los clientes puedan tener acceso al producto.

El canal de Internet ha permitido a compañías como Dell cambiar los precios con rapidez y eficiencia con base en la disponibilidad y demanda del producto. Al estar disponible todo el día, el canal en línea permite a Dell atender a sus clientes a un costo mucho menor que las tiendas minoristas.

Las ventas en línea le permiten a Dell cobrar sus computadoras en cuestión de días después de venderlas; sin embargo, le paga a sus proveedores siguiendo programas más tradicionales en los que el pago se hace en semanas (por ejemplo, 30 días). Dados sus bajos niveles de inventario, Dell es capaz de operar su negocio con capital de trabajo negativo porque recibe el pago de sus computadoras cerca de 44 días antes de pagar los componentes a sus proveedores. Una cadena de suministro de hardware que incluye distribuidores y minoristas no puede lograr estos resultados.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN EL COSTO EN LA INDUSTRIA DE LAS COMPUTADORAS PERSONALES

Costos de inventario. Sus ventas en línea ofrecen a Dell la capacidad de reducir sus inventarios al agregarlos en algunos sitios geográficos, en tanto que una cadena de tiendas minoristas que vende computadoras debe mantener inventario en cada tienda. Dell es capaz de reducir aún más los inventarios al aprovechar el tiempo que transcurre desde que llega un pedido realizado en línea hasta el momento en que debe enviarse. Los productos Dell y las líneas de ensamble están diseñados de modo que todos los componentes en los que se ofrece personalización a los clientes puedan armarse en un corto periodo de tiempo. Esto permite a Dell mantener inventarios de componentes y aplazar el ensamble hasta después de que el cliente ha colocado un pedido. El aplazamiento y lo común de los componentes permiten a Dell reducir significativamente los inventarios.

Observamos que la reducción del inventario mediante la agregación y el aplazamiento es mucho más significativa para configuraciones personalizadas de alto valor con demanda baja e impredecible.

Costos de instalaciones. El canal en línea permite a la cadena de suministro de Dell reducir los costos de instalaciones con respecto al canal minorista porque Dell incurre sólo en el costo de fabricación y del espacio del almacén para los componentes. Una cadena minorista de índole física debe pagar por los almacenes de distribución y también por las tiendas minoristas.

Dell también es capaz de aprovechar la ventaja de la participación del cliente y ahorrar en el costo de los representantes del centro de llamadas porque los clientes realizan todo el trabajo cuando colocan un pedido en línea.

Costos de transporte. Como resultado de las ventas en línea, los costos de transporte totales de la cadena de suministro de Dell son más altos que en una cadena de suministro que vende hardware a través de distribuidores y minoristas. Dell vende a sus clientes computadoras provenientes de sus fábricas, mientras que un fabricante que vende a través de distribuidores y minoristas envía grandes embarques en camiones a los almacenes y a minoristas. La cadena de suministro de Dell incurre, por tanto, en costos de transporte de salida más altos. Para la cadena de suministro de Dell centralizada estos costos son una parte más grande del costo de configuraciones estándar de bajo costo que de las personalizadas de alto costo.

Costos de información. Aunque Dell ha invertido mucho en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para implementar su modelo construido sobre pedido, se incurriría en la mayoría de estos costos de IT independientemente del estado de las ventas en línea de Dell. Por consiguiente, las ventas en línea sí incrementan los costos de información de Dell, aunque ante los beneficios dados no son un factor significativo.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN EL DESEMPEÑO DE DELL Como se resumen en la tarjeta de puntuación de las ventas en línea de la tabla 4-10, las ventas en línea permiten a Dell mejorar significativamente su desempeño con hardware personalizado de alto valor en términos tanto de capacidad de respuesta como de costo. Sin embargo, con hardware estándar de bajo costo el canal en línea es significativamente menos atractivo ya que su fortaleza principal, la reducción del inventario gracias a la agregación, no es tan valiosa con las configuraciones estándar de bajo costo. Simultáneamente, las debilidades del canal en línea —la capacidad de respuesta más deficiente y los altos costos de transporte— llegan a ser más significativos con configuraciones estándar de bajo costo.

UNA RED DE CADENA DE SUMINISTRO ADAPTADA PARA HARDWARE QUE UTILIZA TIENDAS MINORISTAS E INTERNET A primera vista puede parecer que vender hardware en línea ofrece ventajas significativas. Un estudio cuidadoso, sin embargo, indica que un modelo híbrido que combina tiendas minoristas y el canal en línea puede ser muy eficaz. Este tema cobra importancia conforme el hardware se vuelve un artículo de primera necesidad. El canal en línea es más eficaz para vender productos nuevos o configuraciones de hardware personalizado cuya demanda es difícil de pronosticar con el canal minorista que vende configuraciones estándar de bajo costo cuya demanda es más fácil de pronosticar. Los fabricantes deben introducir nuevos modelos en Internet; a medida que la demanda de uno de ellos crece, estos modelos deben

Tabla 4-10 Impacto de las ventas en línea en el desempeño de Dell

Área	Impacto con hardware personalizado	Impacto con hardware estandarizado de bajo costo
Tiempo de respuesta	–1	–2
Variedad del producto	+2	0
Disponibilidad del producto	+1	+1
Experiencia del cliente	+2	+1
Tiempo para llegar al mercado	+2	+1
Visibilidad del pedido	+1	0
Ventas directas	+2	+1
Precios, portafolio y promociones flexibles	+2	+1
Transferencia de fondos eficiente	+2	+2
Inventario	+2	+1
Instalaciones	+2	+1
Transporte	–1	–2
Información	0	0

Nota: +2 = muy positivo; +1 = positivo; 0 = neutro; –1 = negativo; –2 = muy negativo

agregarse al canal minorista. Otra opción es introducir configuraciones recomendadas de modelos nuevos en las tiendas minoristas, mientras que por Internet se venden todas las configuraciones personalizadas. Por consiguiente, el fabricante es capaz de reducir los inventarios al agregar toda la producción de alta variabilidad y satisfacer la demanda en línea. Estos modelos deben construirse sobre pedido utilizando tantos componentes comunes como sea factible. Los modelos estándar pueden producirse mediante un método de bajo costo aun cuando implique un tiempo de espera más largo. La venta de modelos estandarizados a través de distribuidores y tiendas minoristas permite a la cadena de suministro ahorrar en costos de transporte, que representan la fracción más alta del costo de estas configuraciones de bajo costo. A los minoristas se les permite participar en las ventas en línea al tener kioscos donde los clientes pueden configurar modelos de su predilección y pedir modelos estándar que no están en existencia.

Un fabricante de hardware puede utilizar el enfoque de adaptación antes descrito para aprovechar las fortalezas tanto de las ventas en línea como de los canales de distribución y minoristas tradicionales. Gateway fracasó en su esfuerzo con tiendas minoristas porque no utilizó ninguna de las fortalezas de la cadena de suministro del canal de tiendas físicas. En lugar de sólo ayudar a sus clientes con configuraciones en sus tiendas minoristas, Gateway habría atendido mejor a sus clientes manteniendo también configuraciones recomendadas de sus computadoras en las tiendas. Esto habría dejado satisfechos a los clientes que deseaban la configuración recomendada al mismo tiempo que Gateway habría podido producir las configuraciones personalizadas con más eficiencia. En contraste, Apple ha tenido mucho éxito con su canal minorista ya que vende una variedad relativamente baja de hardware estándar en grandes volúmenes en sus tiendas. Dell también ha comenzado a utilizar el enfoque de adaptación con hardware de alto valor, como servidores construidos sobre pedido al tiempo que el hardware estándar de bajo valor se produce en países de costos bajos y se vende a través de tiendas minoristas, como Walmart. A la larga, es probable que un enfoque de adaptación prevalezca en la industria de las computadoras y teléfonos celulares.

Utilización de las ventas en línea para vender libros: Amazon

Las dos cadenas de suministro de libros se han transformado con el advenimiento de las ventas en línea y el lanzamiento de Amazon.com en julio de 1995. Desde entonces Amazon ha agregado muchas categorías a sus ofertas de productos como música, juguetes, aparatos electrónicos, software y equipo para mejora del hogar. Mientras que Internet ofreció a Amazon una cierta ventaja para la venta de libros físicos, esta ventaja se ha incrementado con el crecimiento de los libros electrónicos (e-books).

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN EL SERVICIO AL CLIENTE EN LA INDUSTRIA EDITORIAL Las ventas de libros tradicionales en línea no han producido utilidades al mismo grado que en la industria de computadoras personalizadas. A diferencia de ésta, en la que las ventas en línea facilitan las ventas directas por parte de los fabricantes, Internet no ha acortado las cadenas de suministro en la industria editorial.

Por lo que se refiere a libros tradicionales, Amazon puede atraer sólo a clientes que están dispuestos a esperar algunos días para obtener un libro. Amazon no puede atraer también a clientes que valoran el poder hojear los libros. La compañía trata de contrarrestar este problema proporcionando revisiones y otra información sobre libros que permita a los clientes darse una idea del libro en línea.

Para contrarrestar estas desventajas, Amazon ha explotado varias oportunidades por Internet para atraer clientes e incrementar los ingresos, y atrae muchos clientes al ofrecer una selección de millones de libros. Los clientes pueden buscar libros difíciles de encontrar y los de interés especial. Una gran librería física, en contraste, puede mantener menos de cien mil títulos. Amazon también utiliza Internet para recomendar libros a clientes con base en su historial de compras. Los clientes reciben correos electrónicos que les informan sobre nuevos títulos que se ajustan a sus intereses, con base en su historial de compras Amazon también proporciona revisiones y comentarios de otros clientes sobre los títulos disponibles. Los títulos nuevos se introducen de inmediato y se ponen a disposición en línea, mientras que en una cadena de librerías físicas, todas las tiendas deben mantener existencias.

Amazon utiliza Internet para permitir que sus clientes pidan un libro cuando les plazca desde la comodidad de su hogar. Si los clientes conocen los libros que desean, pueden colocar el pedido en línea y el libro llegará a su domicilio. No es necesario salir de la casa y perder una hora o dos para ir a una librería. Este hecho permite a Amazon atraer clientes que valoran esta conveniencia y que están dispuestos a esperar la entrega.

Por lo que se refiere a libros electrónicos, Amazon es capaz de obtener una gran ventaja con el canal en línea. Por ejemplo, los clientes pueden descargar un libro en segundos sin tener que salir de su casa. Para los clientes que valoran el tiempo, esta experiencia es superior a comprar un libro tradicional en línea o en una librería. La disponibilidad del producto nunca es un problema con libros electrónicos y se puede agregar variedad a un bajo costo marginal. De hecho, Internet ha permitido la disponibilidad de libros de demanda no muy alta de modo que sean viables para editores tradicionales. Para libros de bajo volumen no existe ningún canal mejor que el de los libros electrónicos en línea.

IMPACTO DEL COSTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN LA INDUSTRIA EDITORIAL Amazon también utiliza las ventas en línea para reducir su inventario y algunos de sus costos de instalaciones. Para libros tradicionales, los costos de transporte se incrementan a consecuencia de la venta de libros en línea. Para libros electrónicos; sin embargo, el costo de transporte no es un factor, dado que se pueden descargar con eficiencia por Internet.

Costos de inventario. Amazon es capaz de reducir los inventarios agregando inventarios físicos en algunos sitios geográficos. Una cadena de librerías, por el contrario, tiene altos inventarios porque se mantienen títulos en cada tienda. La reducción de los inventarios por agregación es más significativa para libros de baja demanda con alta incertidumbre en la demanda. El beneficio es menos significativo para libros de alta venta (best sellers) y demanda predecible. Amazon mantiene en el inventario títulos de mediana a alta demanda, mientras que compra títulos de baja demanda a editores en respuesta al pedido de un cliente. En algunos casos Amazon también imprime volúmenes de muy bajo volumen con tecnología de impresión sobre demanda. Esto permite a la cadena de suministro de Amazon reducir aún más los inventarios de títulos de baja demanda. Para libros electrónicos Amazon no incurre en costos de inventario porque no tiene que mantenerlos físicamente.

Costos de instalaciones. Sus ventas en línea permiten a Amazon reducir los costos de instalaciones, ya que no necesita la infraestructura minorista que una cadena de librerías como Barnes & Noble debe tener. Inicialmente, Amazon no contaba con un almacén y compraba todos los libros a distribuidores. Cuando los volúmenes en demanda eran bajos, el distribuidor era el mejor sitio para mantener inventarios debido a la demanda agregada a través de vendedores de libros además de Amazon. Sin embargo, conforme la demanda ha crecido, Amazon ha abierto sus propios almacenes donde guarda libros. Por consiguiente, los costos de instalaciones de Amazon se están incrementando, aunque aún siguen mucho más bajos que los costos de instalaciones de una cadena de librerías. Para los libros electrónicos Amazon requiere capacidad de servidor para garantizar que las descargas sean rápidas, e incluso es probable que la capacidad del servidor resulte más barata que la del almacenamiento requerida para atender la demanda física.

Costos de transporte. La cadena de suministro de Amazon incurre en costos de transporte más altos que una cadena de librerías que vende a través de tiendas minoristas. Las librerías locales no incurren en el costo de envíos individuales de libros a clientes. Amazon, por el contrario, incurre en el costo de enviar libros a sus clientes desde sus almacenes. El costo de envío desde un almacén de Amazon representa una fracción significativa del costo de un libro (puede ser incluso de más de 100% en el caso de un libro barato). Ante el crecimiento de la demanda, Amazon ha abierto varios almacenes en un esfuerzo por acercarse a los clientes, reducir sus costos de transporte y mejorar el tiempo de respuesta. Los costos de transporte en Amazon en 2009 ascendieron a más de $1,770 millones; después de tener en cuenta los ingresos por transporte, la pérdida neta por el transporte de salida fue de $849 millones, una cantidad muy significativa. En comparación, el costo de entrega de libros electrónicos y otro contenido digital a clientes es insignificante.

Costos de información. Como con Dell, la instalación de ventas en línea requiere alguna inversión adicional en tecnología de la información, aunque no es incrementalmente significativa en comparación con la que se requiere para manejar negocios físicos. Por consiguiente, los costos de la tecnología de la información son un poco más altos, pero no prohibitivos. Sin embargo, el costo de la infraestructura de la tecnología de la información requerida para descargar libros electrónicos es más alto.

Impacto de las ventas en línea en el desempeño de Amazon. La tarjeta de puntuaciones de las ventas en línea de Amazon se resume en la tabla 4-11. Al comparar las tablas 4-10 y 4-11 se ve que las ventas en línea ofrecen una mucha mayor ventaja cuando se venden computadoras que cuando se venden libros físicos.

Tabla 4-11 Impacto de las ventas en línea en el desempeño de Amazon

Área	Libros físicos	e-books
Tiempo de respuesta	–1	+1
Variedad del producto	+2	+2
Disponibilidad del producto	+1	+2
Experiencia del cliente	+1	+1
Tiempo para llegar al mercado	+1	+2
Visibilidad del pedido	0	0
Ventas directas	0	+1
Fijación de precios, portafolio, y promociones flexibles	+1	+1
Transferencia de fondos eficiente	0	0
Inventario	+1	+2
Instalaciones	+1	+1
Transporte	–2	+1
Información	–1	–1

Nota: +2 = muy positivo; +1 = positivo; 0 = neutro; –1 = negativo; –2 = muy negativo.

Algunas diferencias clave entre los dos productos son: 1. la diferenciación del producto en el caso de hardware se puede aplazar hasta después de que el cliente ha colocado un pedido, en tanto que los libros físicos se publican con mucha anticipación a la venta. 2. el costo de transporte representa una parte mucha más alta del costo de libros y una parte relativamente pequeña del costo de las computadoras personales. En el caso de libros electrónicos, sin embargo, Internet ofrece una tremenda ventaja con respecto a las librerías tradicionales. Amazon se ha esforzado mucho después del lanzamiento del Kindle, su lector electrónico, para motivar a sus clientes a comprar libros en línea.

Otro contenido digital que Amazon vende incluye películas, software y música. En cada caso el canal de Internet ofrece una tremenda ventaja con respecto a la distribución física. Con el crecimiento de iTunes en Apple y las ventas en línea en Amazon, las cadenas minoristas que vendían formatos físicos de música enfrentaron graves dificultades para sobrevivir y hacia 2010 la mayoría habían cerrado. En el negocio de las películas, los grandes minoristas de DVD como Walmart han seguido funcionando bien, aunque los formatos minoristas más pequeños como Blockbuster no sobrevivieron con la venta y renta física de los DVD.

UNA RED DE CADENA DE SUMINISTRO PARA LIBROS QUE UTILIZA TIENDAS MINORISTAS E INTERNET En la década de 1980 las grandes cadenas de librerías como Borders y Barnes & Noble se establecieron a expensas de las librerías tradicionales, sobre todo mediante la agregación. Las grandes tiendas minoristas permitieron a las dos cadenas mantener una mayor variedad de libros a menudo con costos más bajos que las pequeñas librerías. Tanto Borders como Barnes & Noble cobraban el precio sin descuento en el caso de libros de baja demanda, mientras que ofrecían una mayor variedad y descuentos en libros de gran venta. Tal enfoque tuvo éxito hasta que Amazon alcanzó una posición dominante. Amazon utiliza Internet para vender libros de bajo volumen con mucha más eficiencia que cualquier cadena de librerías. Con el crecimiento de los libros electrónicos y otros formatos minoristas como Walmart y Costco, que venden libros de alta venta, las grandes cadenas de librerías se encuentran estancadas en medio sin ningún área de dominio. Las grandes cadenas de librerías están en peligro de ser aplastadas por ambos lados: otros formatos minoristas para libros de alta venta y las ventas en línea de libros de bajo volumen y libros electrónicos. Borders cerró en 2011 y Barnes & Noble estaba enfrentando fuertes retos.

Utilización de Internet para vender abarrotes: Peapod

La industria abarrotera experimentó un incremento repentino de nuevos vendedores en línea en 1998 y 1999, aunque casi todos abandonaron el negocio. Peapod, uno de los abarroteros en línea más antiguos, es uno de

los pocos que quedan. Dado el deficiente registro de seguimiento de esta industria, se podría suponer que no es adecuada para las ventas en línea. A pesar de la falta de éxito en esta industria, Amazon apareció en ella en 2010 con un piloto en Seattle. Echemos un vistazo a nuestra tarjeta de puntuaciones para ver dónde, al menos, Internet ofrece una ventaja en esta industria.

Peapod comenzó surtiendo pedidos por medio de empleados en tiendas de abarrotes para seleccionar y entregar los pedidos. Ahora la compañía surte pedidos desde centros de surtido ubicados en Chicago y Washington, D.C., y desde grandes supermercados con "almacenes" adyacentes en otras áreas. Cada centro de surtido es mucho más grande que un supermercado y es comparable a un almacén. Las cadenas de suministro de Peapod y de un supermercado son comparables excepto que en la de un supermercado algunos productos provienen de un almacén mientras el resto proviene directamente de los proveedores.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN EL SERVICIO AL CLIENTE EN LA INDUSTRIA ABARROTERA Peapod y otros abarroteros en línea han tratado de vender comodidad y los ahorros de tiempo que ello ofrece a sus clientes. Para muchas personas, la compra de provisiones es una tarea que requiere tiempo y rara vez se disfruta. Peapod permite a los clientes colocar pedidos en cualquier momento y hacer que se les entreguen a domicilio, lo que elimina el viaje al supermercado. Esto puede ser una comodidad significativa, sobre todo en áreas urbanas, donde los clientes tienen que caminar a un supermercado y llevar todas sus mercancías a casa. En un área suburbana, el beneficio es mínimo porque las personas tienden a comprar en lotes y pueden ir en automóvil a los supermercados con relativa facilidad. La conveniencia del ahorro de tiempo, sin embargo, sigue siendo bastante valiosa.

El factor de comodidad relacionado con el acceso es aún más importante si un proveedor de alimentos especializados decide vender en línea. Las tiendas de alimentos especializados y étnicos no son tan accesibles como los supermercados, y a menudo las personas recorren largas distancias para llegar a ellas. La oferta de estos alimentos por Internet permite un fácil acceso a los clientes y ahorra una larga distancia de manejo. Peapod, sin embargo, ofrece menos variedad que un supermercado típico. La mayoría de los grandes supermercados ofrecen una variedad suficientemente grande para satisfacer las necesidades de la mayoría de los hogares.

Peapod es capaz de incrementar los ingresos con la creación de una experiencia de compra y entrega personalizadas para sus clientes, publicidad uno a uno y promociones. Esto se llevó a cabo mediante perfiles extensos de miembros que Peapod crea con base en el comportamiento de compras en línea, historiales de compras y encuestas. A diferencia de un supermercado, donde no se sabe lo que los clientes seleccionaron hasta que llegan a la caja, Peapod puede guiar a los clientes en línea con base en lo que compran. Por ejemplo, si un cliente compra alguna pasta, Peapod puede sugerir un tipo de salsa o un queso parmesano. A lo largo de periodos más largos, Peapod puede reunir patrones de compra y sugerir productos que concuerden con las preferencias del cliente. Tales sugerencias incrementan los ingresos al aumentar las compras impulsivas de los clientes.

Peapod incluso aumenta sus ingresos al proporcionar a las compañías que producen bienes de consumo un foro para publicidad interactiva dirigida y cupones electrónicos. También lo hace al vender datos sobre preferencias de compra a fabricantes de productos. Para un abarrotero en línea los datos sobre preferencias de los clientes son más valiosos que los datos escaneados de un supermercado porque éstos sólo revelan las compras finales del cliente. Es decir, un abarrotero en línea puede registrar el proceso de decisión del cliente, por ejemplo, al registrar sus patrones de sustitución por artículos que no hay en existencia. Con los datos escaneados, un supermercado no puede registrar las sustituciones porque no puede averiguar si el cliente buscaba algo que no está en el inventario.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN LOS COSTOS DE LA INDUSTRIA ABARROTERA Peapod y otros abarroteros en línea utilizan las ventas realizadas en línea para reducir algunos costos de instalaciones y, hasta cierto grado, los de inventario. Los costos de selección y transporte, sin embargo, son mucho más altos que los de los supermercados tradicionales.

Costos de inventario. Comparado con una cadena de supermercados, un abarrotero en línea como Peapod puede reducir sus inventarios agregando el inventario en algunos centros de reabastecimiento grandes. El grado de agregación, sin embargo, es menor que el logrado por Amazon para libros o Dell para hardware, ya que Peapod necesita centros de surtido en cada área urbana que atiende para que los alimentos lleguen al cliente en una condición aceptable.

Los beneficios derivados de la agregación se reducen aún más por el hecho de que la mayoría de los productos vendidos en un supermercado son productos básicos con demanda constante, de modo que la agregación aporta un beneficio marginal en términos de una precisión de pronóstico mejorada e inventarios reducidos (vea el capítulo 12). Los beneficios de agregación son altos para artículos especiales de baja demanda con alta incertidumbre en la demanda. Estos productos constituyen una pequeña fracción de las ventas totales en un supermercado. Por consiguiente, la agregación permite a un abarrotero en línea reducir sus costos de inventario sólo marginalmente en comparación con un supermercado típico. Si los abarroteros en línea se enfocaran sobre todo en artículos especiales como alimentos étnicos, los beneficios de agregación del inventario serían más grandes.

Costos de instalaciones. Las ventas en línea de Peapod le permiten reducir los costos de instalaciones porque necesita sólo almacenes y puede ahorrar en el costo de tiendas minoristas como supermercados. Los costos de procesamiento en Peapod para surtir un pedido, sin embargo, son mucho más altos que los de un supermercado y abruman los ahorros de necesitar pocas instalaciones. Peapod ahorra en cajeros(as) en comparación con un supermercado, pero debe surtir el pedido del cliente, una tarea que éste realiza en un supermercado y que consume más tiempo que pagar en la caja. Por consiguiente, las ventas en línea reducen la participación del cliente en comparación con un supermercado y elevan los costos totales de instalaciones.

Transporte. Un abarrotero en línea como Peapod incurre en costos de transporte significativamente más altos que un supermercado. Los supermercados tienen la ventaja de incurrir sólo en el costo de transporte entrante de los productos, ya que los clientes se encargan del transporte del supermercado a sus domicilios. Los costos del transporte entrante tienden a ser bajos porque los supermercados reciben grandes entregas que les permiten explotar las economías de escala en el transporte. Peapod, por el contrario, tiene que solventar el costo del transporte a sus centros de surtido y luego los costos de entrega de los centros de surtido a los domicilios de los clientes. Los costos de salida son altos por la entrega de pedidos individuales al domicilio de cada cliente. La tarea se vuelve más problemática por los diferentes requerimientos de temperatura de los diferentes tipos de alimentos.

Comparados con las computadoras e incluso los libros, los abarrotes tienen una baja razón de valor peso/volumen. Por ejemplo, las toallas de papel y el papel higiénico tienen un valor muy bajo pero ocupan mucho espacio en un camión. Por tanto, los costos de transporte son una fracción significativa del costo en que incurren los abarroteros en línea. Por eso es difícil para un abarrotero en línea competir en precios con un supermercado.

Costos de información. De nueva cuenta, la infraestructura de la tecnología de la información requerida para las ventas en línea incrementa los costos. En el caso de un abarrotero en línea, esto es un poco más significativo que con los otros canales en línea que hemos estado analizando porque un abarrotero en línea realiza un rango más amplio de funciones que el de los compradores. Por consiguiente, los costos de infraestructura de la información son más elevados para un abarrotero en línea. Sin embargo, como en los demás ejemplos, los costos de infraestructura de la información no son un factor determinante en este modelo de negocio.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN EL DESEMPEÑO DE PEAPOD. Las ventas en línea ofrecen algunas oportunidades de mejorar los ingresos en la industria abarrotera. Los costos, sin embargo, son significativamente más elevados para un abarrotero en línea que para un supermercado, como podemos ver en la tabla 4-12. Si comparamos las tablas 4-10, 4-11 y 4-12, vemos que las ventas en línea ofrecen menos beneficios cuando se venden abarrotes que cuando se trata de libros y computadoras. Los supermercados son lo bastante grandes para disfrutar la mayoría de los beneficios de inventario que la agregación ofrece, sin el costo de entrega adicional en que incurre un abarrotero en línea. Los abarroteros en línea no pueden competir en precios con los supermercados y sólo pueden tener éxito si hay suficientes clientes dispuestos a pagar un extra por la comodidad de la entrega a domicilio. Pero pueden proporcionar una cierta ventaja en cuanto a costos cuando venden provisiones especiales, cuya demanda tiende a ser baja e incierta.

VALOR DE LAS VENTAS EN LÍNEA ANTE UNA CADENA DE SUPERMERCADOS TRADICIONAL Las cadenas de supermercados tradicionales se benefician al utilizar el canal en línea para complementar las fortalezas de su red existente. El canal en línea puede utilizarse para ofrecer comodidad a los clientes que desean pagar por ella, y los supermercados para captar clientes que valoran los precios bajos.

Tabla 4-12 Impacto de las ventas en línea en el desempeño de Peapod

Área	Impacto
Tiempo de respuesta	–1
Variedad del producto	0
Disponibilidad del producto	0
Experiencia del cliente	+1
Tiempo para llegar al mercado	0
Visibilidad del pedido	–1
Ventas directas	0
Fijación de precios, portafolio y promociones flexibles	+1
Transferencia eficiente de fondos	0
Inventario	0
Instalaciones	–1
Transporte	–2
Información	–1

Nota: +2 = muy positivo; +1 = positivo; 0 = neutro; –1 = negativo; –2 = muy negativo.

Una cadena de supermercados con ventas en línea tiene la oportunidad de ofrecer una amplia variedad de servicios a diferentes precios según la cantidad de trabajo que el cliente realice. El servicio más barato implica que los clientes entren a la tienda y compren los productos que desean. En este caso, el cliente selecciona el pedido desde los anaqueles y proporciona el transporte a su domicilio. Por un cargo adicional, un supermercado podría permitir a los clientes colocar pedidos en línea para ser seleccionados posteriormente. El personal del supermercado seleccionaría el pedido de los anaqueles, pero el cliente se encargaría del transporte de salida. El servicio más caro es cuando el cliente coloca pedidos en línea con entrega a domicilio. En este caso, la cadena de supermercados se encarga de seleccionar el pedido de los anaqueles y de entregarlo a domicilio. Los servicios y precios variables permitirían a las cadenas de supermercados satisfacer con eficiencia las necesidades de una variedad de clientes.

Entre las cadenas de supermercados, Albertsons ha tomado la delantera al combinar las ventas en línea con supermercados físicos. Ha renombrado algunas de sus tiendas como Albertsons.com. La mitad de ellas siguen siendo un supermercado tradicional, en tanto que la otra mitad se utiliza para surtir pedidos de comestibles en línea. Esto permite a la empresa explotar las economías de escala derivadas del transporte de entrada, al mismo tiempo que mantiene cortas las distancias a los clientes por el lado de salida. Se permite que los clientes seleccionen sus pedidos en la tienda o que soliciten que se los entreguen a domicilio. Basados en nuestro análisis, es probable que el modelo de Albertsons sea el más eficaz para combinar las ventas en línea con los supermercados existentes en la industria abarrotera, y es probable que los abarroteros en línea puros sean menos eficaces.

Como ya antes lo mencionamos, el canal en línea también es más eficaz para productos alimenticios especiales. De hecho, Amazon estableció un área de productos alimenticios especiales en su sitio Web para ir tras este mercado. Amazon también entró al mercado de productos alimenticios entregados a domicilio, pero está por verse qué tanto éxito tendrá.

Uso de Internet para rentar películas: Netflix

Fundada en 1997, Netflix había crecido a más de 20 millones de suscriptores en 2011 y era el servicio de suscripción más grande del mundo que vendía DVDs por correo y ofrecía películas y series de televisión por Internet. Por $7.99 al mes, los clientes podían obtener una descarga ilimitada de la biblioteca digital de Netflix y por otros $7.99 al mes podían recibir por correo en su domicilio cualquiera de entre más de 100,000

títulos de DVD . El crecimiento de Netflix fue uno de los factores importantes que provocó la quiebra en 2010 de la cadena Blockbuster de renta de DVDs.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN EL SERVICIO AL CLIENTE PARA NETFLIX Netflix atrajo clientes con su asombrosa selección y un excelente motor de recomendación que permitía a los clientes acceder a títulos que probablemente disfrutarían. Mientras que una tienda Blockbuster típica ofrecía 3,000 títulos disponibles, Netflix tenía más de 100,000. Netflix aseguraba que 95% de sus clientes recibía sus DVDs en 24 horas después de que se enviaban. En febrero de 2000, Netflix introdujo CineMatch, un programa que hacía recomendaciones con base en el historial de rentas del cliente combinado con calificaciones de otros usuarios con intereses similares. Netflix contaba con más de 3,000 millones de calificaciones de películas de miembros, con cerca de 4 millones de películas calificadas por día. El sistema de calificación había demostrado ser especialmente preciso, y 60% de todos los usuarios de Netflix seleccionaba sus películas con base en recomendaciones que se ajustaban a sus gustos individuales.[2] La compañía utilizaba su tecnología de recomendación para mantener los envíos de DVDs en movimiento y un mayor número de sus viejos títulos de DVD en circulación.

Para su contenido digital, Netflix permitía la descarga de videos por medio de varios dispositivos como decodificadores de Roku, Microsoft Xbox, Sony Play Station 3 y televisores de alta definición de Sony y LG. El uso de Internet para ver contenido digital había crecido a una tasa considerable. Se estimaba que 48% de los clientes veía más de 15 minutos de contenido descargado en el cuarto trimestre de 2009, en comparación con 28% del año anterior.[3] Era probable que esta proporción creciera en el futuro.

Un reto para Netflix era el retardo que los estudios pedían para elaborar las películas nuevas antes de que pudieran estar disponibles en Netflix. Como los estudios obtenían más ingresos por las ventas de DVDs, habían negociado un retardo de cuatro semanas a partir de cuando un DVD estuviera a la venta por primera vez hasta el momento en que estuviera disponible en Netflix. Esto era un retardo artificial diseñado para apoyar las ventas de DVDs a través de tiendas minoristas como Walmart.

IMPACTO DE LAS VENTAS EN LÍNEA EN LOS COSTOS DE NETFLIX Netflix utilizaba la Internet para reducir significativamente sus costos de instalaciones e inventario con respecto a Blockbuster.

Costos de inventario. Netflix agregó su inventario en cerca de 60 centros de distribución en 2010. Esto le permitió mantener de manera significativa menos inventario que Blockbuster, que mantenía la mayor parte de su inventario en miles de tiendas minoristas. En 2009, cerca de 70% de los DVDs enviados por Netflix eran títulos con fechas de estreno de más de 13 semanas.[4] Los estudios de cine estaban felices de que los clientes pudieran ver su viejo catálogo (el que por el contrario producía pocos ingresos) y por tanto ofrecieron a Netflix estos DVDs sin costo y compartían los ingresos que Netflix obtenía. El no tener que pagar los viejos DVDs redujo aún más los costos de inventario en Netflix. En 2009 Netflix mantenía sólo $37 millones en inventarios (con ventas de $1,670 millones) en tanto que Blockbuster mantenía $639 millones en inventarios (con ventas de $4,060 millones).

Costos de instalaciones. Netflix tenía costos de instalaciones significativamente más bajos que los de Blockbuster porque agregaba sus operaciones en menos de 60 centros de distribución, en tanto que Blockbuster tenía miles de tiendas por las que tenía que pagar. Mientras que $266 millones en propiedad y equipo en Netflix produjeron $1,670 millones en ventas en 2009, Blockbuster requirió $2,370 millones en propiedad y equipo para generar $4,060 millones en ventas.

Costos de transporte. Los costos de transporte en Netflix eran considerablemente más altos que en Blockbuster. El ejecutivo financiero principal de Netflix señaló que la compañía gastó cerca de $600 millones en enviar DVDs en 2009, y que conforme los clientes se pasaran de los DVDs a las descargas era probable que los costos de transporte se redujeran. De hecho, la estrategia de Netflix era comprar más contenido

---

[2] Clive Thompson. 21 de noviembre 2008. If You Liked This, You're Sure to Love That, *New York Times.* Tomado de http://www.nytimes.com/2008/11/23magazine/23Netflix-t.html

[3] Netflix, AnnualReport, 2009.

[4] Idem.

Tabla 4-13 Impacto de las ventas en línea en el desempeño de Netflix con respecto a Blockbuster

Área	Impacto de los DVD	Impacto del contenido digital
Tiempo de respuesta	–1	+2
Variedad del producto	+2	+2
Disponibilidad del producto	+1	+2
Experiencia del cliente	+1	+1
Tiempo para llegar al mercado	–1	–1
Visibilidad del pedido	0	0
Ventas directas	0	0
Fijación de precios, portafolio, y promociones flexibles	+1	+1
Transferencia de fondos eficiente	0	0
Inventario	+2	+2
Instalaciones	+1	+1
Transporte	–2	0
Información	–1	–1

Nota: +2 = muy positivo; +1 positivo; 0 = neutro; –1 = negativo; –2 muy negativo.

digital con sus ahorros en los costos de transporte a medida que los suscriptores se cambiaran hacia ver más contenido en línea.

Costos de información. Los costos de información son altos para soportar las operaciones de Netflix con respecto a Blockbuster. Con el crecimiento de la descarga digital es probable que se incrementen los costos de información.

Impacto de las ventas en línea en el desempeño de Netflix. Netflix obtiene ventajas significativas al rentar películas sobre el canal de distribución físico de Blockbuster como se muestra en la tabla 4-13. Estas ventajas son más notables para la amplia selección de películas antiguas en los catálogos de los estudios. Para películas más nuevas, las máquinas vendedoras de DVDs de Redbox son un canal eficaz de relativamente bajo costo. En 2010, como una parte importante de su estrategia de recuperación, Blockbuster consideró reemplazar sus tiendas con miles de máquinas vendedoras. Estas máquinas vendedoras mantienen sólo algunos miles de títulos que incluyen películas nuevas y videos infantiles populares y permiten que los clientes reserven películas en línea en máquinas específicas con una tarjeta de crédito. El resultado es una agregación virtual de inventarios, lo que permite igualar la oferta y la demanda, así como reducir el gasto de inventario; además de que están instaladas en la infraestructura minorista existente, como los supermercados, por lo que el incremento marginal de propiedad, planta y equipo es pequeño.

Mientras que Netflix explotó Internet con mucha eficacia para enviar DVDs por correo desde sus centros de distribución centralizados, enfrentará más retos a medida que se convierta sobre todo en un servicio de descarga. Afrontará una fuerte competencia de sus similares como Amazon, Apple, Google y Hulu. El reto primordial para la cadena de suministro de descargas es aprovisionarse de contenido ya que sus inversiones en otros activos son relativamente bajas. A Netflix se le dificultará mantener una ventaja competitiva en este espacio a diferencia de su competencia con Blockbuster.

4.5 REDES DE DISTRIBUCIÓN EN LA PRÁCTICA

1. ***La estructura de propiedad de la red de distribución puede tener un impacto tan grande como el tipo de la red de distribución.*** La mayor parte de este capítulo se ocupa de diferentes tipos de redes físicas y los flujos subsiguientes para distribuir exitosamente productos. Sin embargo, también es importante quién posee cada etapa en la red de distribución. Las redes de distribución que tienen el mismo flujo físico pero

diferentes estructuras de propiedad pueden tener desempeños muy diferentes. Por ejemplo, un fabricante que posee su propia red de distribución puede controlar las acciones de ésta. Sin embargo, si el fabricante no posee su propia red de distribución, como es el caso más frecuente, habrá que tomar en cuenta una amplia variedad de cuestiones que deben optimizarse a lo largo de la red. Obviamente, un distribuidor independiente desea optimizar su propia empresa, no necesariamente toda la cadena de suministro. Tratar de optimizar toda una cadena de distribución con múltiples empresas requiere una gran habilidad para coordinar los incentivos de cada uno de los participantes y para crear las relaciones correctas. Asegurémonos de considerar el impacto tanto de los flujos físicos como de la estructura de propiedad al momento de diseñar una red de distribución.

2. ***Es importante contar con redes de distribución adaptables.*** Las redes de distribución deben ser capaces de adaptarse a la tecnología y entornos variables. La incapacidad de adaptación puede ser muy perjudicial en estos tiempos de cambios rápidos. Por ejemplo, Blockbuster en el negocio de renta de películas y Border en el negocio de venta de libros, tuvieron un gran éxito con una red de tiendas minoristas, pero su incapacidad de adaptación a la llegada de Internet permitió que competidores como Amazon y Netflix se apropiaran de un segmento del mercado a sus expensas. Si Blockbuster o Borders hubieran aprovechado la Internet para crear una red de distribución adaptada, se puede argumentar que podrían haber continuado su dominio. Walmart es un ejemplo de una compañía que mediante ensayo y error adaptó su red de distribución para aprovechar Internet junto con su red de tiendas minoristas existente.

3. ***El precio, la estandarización y la selectividad de los productos afectan el tipo de sistema de distribución preferido por los clientes.*** Las interacciones entre un comprador y un vendedor consumen tiempo y recursos. En consecuencia, es mucho más conveniente para un comprador tratar con una sola empresa que puede entregar toda una línea de productos. Para productos especializados de alto valor o selectivos, los clientes tienden a conservar una relación únicamente con ese producto particular. Sin embargo, para productos de bajo valor, estandarizados como los artículos para oficina, la mayoría de los clientes prefieren comprar bajo el mismo techo. Por tanto, mientras que los clientes desean pedir computadoras portátiles directamente al fabricante, prefieren recurrir a un proveedor o tienda cuando van a comprar plumas, papel o grapas. Si bien Apple ha tenido éxito con tiendas que venden sólo productos Apple, es muy improbable que un fabricante de grapas pudiera tener éxito sin distribuir a través de tiendas fijas generales.

4. ***Integración de Internet con la red física existente.*** Para extraer el máximo beneficio del canal en línea en el caso de bienes físicos, las empresas deben integrarlo a sus redes de cadena de suministro existentes. La separación de las dos redes suele dar lugar a ineficiencias en la cadena de suministro. Este acoplamiento del canal en línea con la red física existente se conoce como “clics-and-mortar”[5].

El uso de Albertsons de sus activos físicos para satisfacer tanto los pedidos en línea como a los clientes que desean comprar en un supermercado, es una integración eficaz de las ventas en línea en una red de cadena de suministro. Otro ejemplo de una estrategia eficaz de sitio web y tienda física es Walmart, que permite a los clientes recoger en sus tiendas minoristas sus pedidos colocados en línea. Internet se utiliza para ampliar la variedad disponible para los clientes en una tienda Walmart; éstas tienen existencias de artículos populares, en tanto que los clientes pueden ordenar en línea los colores o tamaños que pudieran no estar disponibles en la tienda. Esto permite a Walmart centralizar los artículos de baja demanda, al mismo tiempo que incrementa la variedad disponible para los clientes y extrae el máximo beneficio de integrar sus ventas en línea con su red física.

4.6 RESUMEN

1. ***Identificar los factores clave que deben considerarse cuando se diseña una red de distribución.*** Cuando se diseña una red de distribución, un gerente debe considerar las necesidades del cliente que deben satisfacerse y el costo de satisfacerlas. Algunas necesidades clave del cliente a considerar incluyen el tiempo de respuesta, la variedad/disponibilidad del producto, su visibilidad, y la retornabilidad. Los costos importantes que los gerentes deben considerar incluyen los de inventarios, transporte, instalaciones y manejo, e información. El aumento en el número de instalaciones reduce el tiempo de respuesta y el costo de transporte, pero incrementa el costo de inventario e instalaciones.

---

[5] *N del T:* Tipo de modelo de negocio compuesto por un sitio web y una tienda física.

2. ***Definirlas fortalezas y debilidades de varias opciones de distribución.*** Las redes de distribución de entrega directa al cliente son más adecuadas para una gran variedad de productos de alto valor pero de baja e incierta demanda. Estas redes mantienen bajos niveles de inventario pero incurren en un alto costo de transporte y su tiempo de respuesta es lento. Las redes de distribución que mantienen inventario local son adecuadas para productos de alta demanda, en especial si el transporte representa una fracción grande del costo total. Estas redes incurren en un alto costo de inventario pero en un costo de transporte bajo y su tiempo de respuesta es más rápido.

3. ***Entender cómo las ventas en línea han afectado el diseño de redes de distribución en diferentes industrias.*** El incremento de las ventas en línea ha afectado tanto el servicio al cliente como a los costos en cadenas de suministro. Las ventas en línea permiten a una empresa ofrecer una mayor variedad de productos y mejorar la disponibilidad de éstos con la centralización de los inventarios. Esto es especialmente benéfico para productos de bajo volumen y alta variedad. El canal en línea también mejora la experiencia del cliente al proporcionarle acceso durante las 24 horas y permitirle una experiencia más personalizada. Sin embargo, la venta de un producto en línea aumenta el tiempo de respuesta con respecto a una tienda minorista. Una compañía que vende en línea reduce los costos de instalaciones si no hay una pérdida significativa de participación del cliente. Pero los costos de transporte se incrementan, y esto es particularmente significativo para productos de bajo valor con demanda predecible. Las ventas en línea han sido muy eficaces para productos de alto valor con demanda incierta, cuando los clientes desean esperar algún tiempo antes de la entrega. Internet es particularmente eficaz para productos como música, películas y libros que pueden digitalizarse, porque desaparecen las dos desventajas importantes de distribuir productos físicos en línea —largos tiempos de respuesta y alto costo de transporte.

Preguntas para debate

1. ¿Qué diferencias en el ámbito minorista pueden justificar el hecho de que la cadena de suministro de bienes de consumo de alta rotación en la India tenga más distribuidores que en Estados Unidos?

2. Una compañía de productos químicos especiales está considerando ampliar sus operaciones a Brasil donde cinco compañías dominan el consumo de productos químicos especiales. ¿Qué clase de red de distribución debe utilizar esta compañía?

3. Un distribuidor se ha enterado de que uno de los fabricantes principales a quien le compra está considerando vender directamente al consumidor. ¿Qué puede hacer el distribuidor al respecto? ¿Qué ventajas puede ofrecer al fabricante que probablemente éste no pueda reproducir?

4. ¿Qué tipos de redes de distribución suelen ser más apropiadas para bienes de consumo?

5. ¿Qué tipo de red es más adecuada para productos altamente diferenciados?

6. En el futuro, ¿considera que el valor agregado por los distribuidores, se reducirá, se incrementará o se quedará como está?

7. ¿Por qué el canal en línea ha tenido más éxito en la industria de las computadoras personales en comparación con la industria abarrotera? En el futuro, ¿qué tan valioso sería el canal en línea para la industria de las computadoras personales?

8. ¿Es probable que el canal en línea ofrezca más beneficios en la parte temprana o en la parte madura del ciclo de vida de un producto? ¿Por qué?

9. Considere la venta de productos para el mejoramiento del hogar en Home Depot o en una cadena de ferreterías como True Value. ¿Quién puede obtener un mayor beneficio por vender en línea? ¿Por qué?

10. Amazon vende libros, música, aparatos electrónicos, software, juguetes y productos para mejoramiento del hogar en línea. ¿En qué categoría de productos las ventas en línea ofrecen la mayor ventaja en comparación con una cadena de tiendas minoristas? ¿En qué categoría de productos el canal en línea ofrece la menor ventaja (o una desventaja de costo potencial) en comparación con una tienda minorista? ¿Por qué?

11. ¿Por qué un vendedor en línea como Amazon debe construir más almacenes a medida que su volumen de ventas se incrementa?

Bibliografía

Chopra, Sunil. (2003). Designing the Delivery Network for a Supply Chain. *Transportation Research, Part E, núm.*39, pp. 123-140.

_____________. (2010). Movie Rental Business: Blockbuster, Netflix and Redbox. *Kellog School of Management Case* # 5, pp. 310-507.

Chopra, Sunil, y Jan Van Mieghem. (Julio-agosto 2000). Which e-Business Is Right for Supply Chain? *Supply Chain Management Review,* pp. 32-40.

Evans, Phillip, y Thomas S. Wurster. (Noviembre-diciembre 1999). Getting Real About Virtual Commerce. *Harvard Business Review,* pp. 84-94.

Kalyanam, Kirthi, y Ward Hanson. (2007). *Internet Marketing and e-Commerce.* Cincinnati, OH: South-Western Publishing.

Lee, Hau L., y Seungjin Whang. (Verano de 2001).Winning the Last Mile of e-Commerce. *Sloan Management Review,* pp. 54-62.

Olavson, Thomas, Han Lee, y Gavin DeNyse. (Julio-agosto 2010). A Portfolio Approach to Supply Chain Design. *Supply Chain Management Review,* pp. 20-27.

Poirier, Charles C. (Otoño de 1999). The Convergence of Business & Technology. *Supply Chain Management Review,* pp. 52-58.

Raman, Ananth, y Bharat P. Rao. (1997). A Tale of Two Electronic Component Suppliers. *Harvard Business School Case 9,* pp. 697-064.

Ricker, Fred R., y Ravi Kalakota. (Otoño de 1999). Order Fulfillment: The Hidden Key to e-Commerce Success. *Supply Chain Management Review,* pp. 60-70.

Salcedo, Simon, y Ann Grackin. (Invierno de 2000). The e-Value Chain. *Supply Chain Management Review,* pp. 63-70.

Willcocks, Leslie P., y Robert Plant. (Primavera de 2001). Pathways to e-Business Leadership: Getting from Bricks to Clicks. *Sloan Management Review,* pp. 50-59.

Shapiro, Carl, y Hal R. Varian. (1999). *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy.* Boston: Harvard Business School Press.

The e-Enabled Supply Chain. *Global Supplement*, *Supply Chain Management Review* (Otoño de 1999).

Turban, Efraim, Jae Lee, David King, y H. Michael Chung. (2000). *Electronic Commerce: A Managerial Perspective.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

ESTUDIO DE CASO

Blue Nile y Diamond Retailing[1]

Suponga que un cliente entra a su joyería con un folleto de selecciones de diamantes de Blue Nile, una compañía que es el minorista más grande de diamantes en línea. El precio de lista del diamante que el cliente desea es de sólo $100 sobre el costo total de una de las piedras que usted vende y que tiene las mismas características. ¿Dejaría ir al cliente o reduciría su precio para competir?[2]

Éste es un dilema al que se han enfrentado muchos joyeros. Algunos argumentan que deben reducir los precios de las piedras para conservar al cliente. Las ventas futuras y las ventas complementarias, como diseños personalizados, montajes y reparaciones, pueden utilizarse luego para obtener márgenes adicionales. Otros argumentan que la reducción de precios para competir envía una señal negativa a los clientes leales del pasado, que pudieran molestarse por el hecho de que a ellos no se les ofreció el mejor precio.

Al intensificarse la economía durante la temporada navideña de 2007, las diferencias de desempeño entre Blue Nile y los minoristas establecidos en tiendas físicas fueron sorprendentes. En enero de 2008 Blue Nile reportó un incremento de 24% de ventas durante su cuarto trimestre. En el mismo trimestre, Tiffany reportó una reducción de 2% en las ventas, y Zales 9%. La ejecutiva de operaciones en jefe de Blue Nile, Diane Irvine, declaró, "Todo lo que hay que hacer en este negocio es obtener una parte del mercado. Lo consideramos como un campo de oportunidades".

La industria minorista de los diamantes en 2008

Tanto para los mayoristas como para los minoristas en la industria de los diamantes, 2008 fue un año muy difícil. Fue tan malo por el lado del abasto, que la asociación de distribuidores, la World Federation of Diamond Bourses, solicitó a los productores de diamantes que redujeran la oferta de nuevas gemas al mercado en un esfuerzo por reducirla.

Sin embargo, De Beers, el productor más grande del mundo, no hizo nada y se rehusó a reducir la producción. La compañía recién había abierto la mina Voorspoed en Sudáfrica, la cual, cuando operara a toda su capacidad, podría agregar 800,000 carats (kilates) al año a un mercado ya sobreabastecido. Históricamente, De Beers había ejercido un fuerte control en la oferta de diamantes, al grado de comprar grandes cantidades de diamantes en bruto a otros productores. En 2005 la Comisión Europea obligó a De Beers a cancelar su acuerdo de comprar diamantes a ALROSA, el segundo productor más grande del mundo, el cual contribuía con la mayor parte de la producción de diamantes en Rusia. Rusia era el segundo productor más grande de diamantes en el mundo después de Botswana.

Mientras que las tiendas minoristas de descuento como Walmart y Costco continuaron esforzándose, la situación era difícil para los joyeros minoristas. Friedman

---

[1] Este caso se escribió conjuntamente con el profesor Ruby Thomas del ElmhurstCollege.

[2] Stacey King (1999). The Internet Retailers' New Challenge. *Professional Jeweller Magazine.*

se acogió al capítulo 11 de protección contra bancarrota en enero de 2008, y Whitehall, de Chicago, hizo lo mismo en junio. Cuando se acogió a la ley contra bancarrota, Friedman era la tercera cadena de joyerías más grande de Estados Unidos con 455 tiendas, en tanto que Whitehall era la quinta con 375 tiendas en abril de 2008. En febrero de 2008 Zales anunció un plan para cerrar más de 100 tiendas en 2008. Este sacudimiento ofreció una oportunidad para que otros participantes entraran y trataran de obtener una parte del mercado.

Con la economía debilitándose, el tercero y cuarto trimestres de 2008 fueron particularmente difíciles para los distribuidores minoristas de diamantes. Incluso actores históricamente exitosos como Blue Nile, Tiffany y Zales experimentaron una reducción en las ventas y una caída significativa en el precio de sus acciones. Al apretarse sus cinturones los clientes y reducir sus gastos discrecionales, las compras de alto costo como la joyería de diamantes fueron de las primeras en aplazarse. La situación empeoró a medida que la competencia por el número reducido de clientes se hizo más fiera. En un ámbito tan duro era difícil juzgar cuáles factores podían ayudar mejor a los diferentes joyeros minoristas a tener éxito.

Blue Nile

En diciembre de 1998, Mark Vadon, un joven consultor, buscaba un anillo de compromiso y tropezó con una compañía llamada Internet Diamonds, dirigida por Doug Williams, un joyero de Seattle. Vadon no sólo compró un anillo sino que se asoció con Williams a principios de 1999. A finales de ese mismo año la compañía cambió su nombre a Blue Nile porque, según Vadon, el nuevo nombre "sonaba elegante y exclusivo".

En su sitio Web, Blue Nile articuló así su filosofía: "Ofrecer diamantes de alta calidad y joyería fina a precios excepcionales. Cuando visite nuestro sitio Web, encontrará joyería extraordinaria, una guía útil y una enseñanza en joyería fácil de entender, perfecta para su ocasión".

A muchos clientes (sobre todo hombres) les agradaba la táctica de ventas de baja presión enfocada en la enseñanza. Además de explicar las cuatro C: Corte, Color, Claridad y Carats, Blue Nile permitía a los clientes "construir su propio anillo". Comenzando con el corte que preferían, los clientes podían determinar rangos a lo largo de las cuatro C y el precio. Blue Nile mostraba luego todas las piedras que había en el inventario que se ajustaban al perfil deseado del cliente. Los clientes seleccionaban la piedra de su elección, y el montaje que más les gustaba. Blue Nile también les permitía hacer preguntas por teléfono, las cuales contestaban representantes de ventas que no trabajaban por comisión. Este método de ventas de baja presión agradó mucho a un segmento de la población. En un artículo de *Business Week*[3] en 2008, el empresario de la Web, Jason Calacanis, comentó que la compra de su anillo de compromiso (por el que había pagado "decenas de miles de dólares") en Blue Nile "había sido la mejor experiencia de compra que nunca antes había tenido".

La compañía se enfocaba en proporcionar un buen valor para sus clientes. Mientras que los joyeros minoristas de forma rutinaria elevaban el precio de los diamantes hasta 50%, Blue Nile mantenía una reducción de 20 a 30%, pues creía que podía darse el lujo de reducir los precios debido a los bajos gastos de inventario y manejo de almacén. A diferencia de los joyeros minoristas que mantenían sus tiendas en áreas de alto precio, Blue Nile tenía un solo almacén en Estados Unidos donde mantenía todo su inventario.

La estrategia de la compañía no estaba exenta de obstáculos, porque a algunos clientes no les importaban mucho los precios bajos de la competencia. Por ejemplo, algunos clientes preferían "una pieza de joyería fina en una caja de color azul huevo de robbin con Tiffany en ella"[4] a obtener un precio con descuento. Tampoco estaba totalmente claro que los clientes estuvieran dispuestos a gastar miles de dólares en un artículo que no habían visto o tocado. Para contrarrestar esta situación, Blue Nile ofrecía una garantía de devolución del dinero a 30 días sobre artículos en su condición original.

En 2007 la compañía lanzó sitios Web en Canadá y el Reino Unido, y abrió una oficina en Dublín con servicio a clientes locales y operaciones de surtido de pedidos, la cual ofrecía envíos gratuitos a varios países de Europa Occidental. La instalación de Estados Unidos manejaba envíos internacionales a algunos países en la región Asia-Pacífico. Las ventas internacionales se habían incrementado de $17 millones en 2007 a más de $33 millones en 2009 a pesar de las difíciles condiciones económicas.

Para 2007 Blue Nile había vendido más de 70,000 anillos de más de un carat con 25 pedidos que ascendían a más de $100,000. En junio de 2007 la compañía vendió un solo diamante por $1.5 millones. *Forbes* lo llamó "quizás la compra más grande de un cliente en la historia de la Web —y también la más improbable"—.[5] La piedra de más de 10 carats tenía un diámetro de casi el tamaño de

---

[3] Jay Greene (Mayo 2000). Blue Nile: No Diamond in the Rough. *Business Week e.biz.*
[4] King. The Internet Retailers' New Challenge.
[5] Victoria Murphy Barret (Octubre 2007). The Digital Diamond District. *Forbes.com.*

(Continúa)

(Continuación)

un "penny" (moneda de un céntimo de dólar). Blue Nile no tenía la piedra en inventario, pero su red de proveedores localizó rápidamente una en un avión en ruta de un distribuidor en Nueva York a un minorista en Italia. La piedra fue desviada a la oficina matriz en Seattle y transportada en un camión blindado de Brinks al comprador. ¡Todo el proceso se llevó sólo tres días!

En noviembre de 2008 Blue Nile ofreció más de 75,000 diamantes en su sitio. De estos diamantes, mas de 30,000 eran de un carat o más grandes con precios hasta de $1.9 millones. Casi 43,000 diamantes en el sitio Web de Blue Nile costaban más de $2,500 cada uno. En 2010 la directora ejecutiva Diane Irvine declaró: "No estamos posicionados como tienda de descuento. Vendemos un producto muy lujoso pero lo vendemos por mucho menos".

En 2007 la compañía realizó ventas de casi $320 millones con un ingreso neto de más de $22 millones. Para el 17 de noviembre de 2008, sin embargo, sus acciones cayeron desde un valor de más de $100 en octubre de 2007 a menos de $23. En el tercer trimestre de 2008 la compañía experimentó su primera caída en ventas al reportar $65.4 millones; es decir, 2.9% menos que el mismo trimestre en 2007. En un anunció alentador, la compañía manifestó: "Blue Nile está bien posicionada para generar rentabilidad y flujo de efectivo incluso en condiciones de mercado difíciles. Confiamos en nuestra habilidad para continuar incrementando nuestra participación en el mercado y para emerger de esta crisis económica en una posición competitiva aún más fuerte"; sin embargo, 2008 resultó ser un año desafiante con una caída neta en ventas de menos de 10% e ingresos de operación reducidos en más de 25%. En 2009, sin embargo, tanto las ventas como el ingreso mejoraron para Blue Nile (vea la tabla 4-14).

Zales

La primera joyería Zales Jewelers fue establecida por Morris (M. B.) Zale, William Zale y Ben Lipshy en 1924. Su estrategia de marketing era ofrecer un plan de crédito de "un centavo abajo y un dólar a la semana". Su éxito les permitió crecer a 12 tiendas en Oklahoma y Texas para 1941. Durante las siguientes cuatro décadas, la compañía creció a cientos de tiendas al comprar otras tiendas y cadenas más pequeñas.

En 1986 la compañía fue adquirida en una compra con apalancamiento de activos por Peoples Jewelers de Canadá y Swarovski International. En 1992 la deuda obligó a Zales a acogerse al capítulo 11 de bancarrota durante un año. En esa década volvió a ser una compañía que cotizaba y para 2005 operaba casi 2,400 tiendas. En noviembre de 2007 Zale vendió las divisiones de la compañía, entre ellas Piercing Pagoda, la cual operaba quioscos instalados en centros comerciales y vendía joyería a adolescentes; Zales Jewelers, que vendía joyería de diamantes para compradores de la clase trabajadora en centros comerciales, y las tiendas de lujo Gordon's, Bailey Banks &Biddle Fine Jewelers, que ofrecían productos caros en centros comerciales elegantes.

Tabla 4-14 Selección de datos financieros de Blue Nile Inc. (en miles de dólares)

	2008	2009
Ventas netas	295,329	302,134
Costos de las ventas	235,333	236,790
Utilidad bruta	59,996	65,344
Gastos de ventas, generales y administrativos	44,005	45,997
Ingresos de operación	15,991	19,347
Activos corrientes		
Efectivo y equivalentes a efectivo	54,451	78,149
Cuentas por cobrar comerciales	984	1,594
Otras cuentas por cobrar	725	241
Inventarios	18,834	19,434
Activos corrientes totales	76,733	115,844
Propiedad y equipo, netos	7,558	7,332
Otros activos	89	145
Activos totales	89,665	130,415

Tres años de participación declinante en el mercado, perdida en su mayor parte frente a tiendas de descuentos como Walmart y Costco, obligaron a Zales a decidirse por una renovación en 2005. Zales abandonó la joyería barata de oro de 10 quilates y los diamantes de modesta calidad. El objetivo era convertir la joyería en una de lujo consciente de la moda, alejándose de su reputación de joyería barata basada en promociones. Por desgracia, el cambio fue un desastre. Hubo demoras para traer la nueva mercancía, y las ventas cayeron. La compañía perdió muchos de sus clientes tradicionales sin conseguir los nuevos que deseaba. Pronto fue sobrepasada por Sterling, establecida en Akron, Ohio (una subsidiaria del Signet Group) como la joyería más grande de Estados Unidos. El director ejecutivo de Zale Corporation fue obligado a renunciar a principios de 2006.

En agosto de 2006, bajo el mando de un nuevo director ejecutivo, Zales inició una transición para regresar a su rol como minorista promocional enfocado en la joyería de moda de diamantes y anillos de diamantes. La transición implicó vender casi $50 millones de inventario descontinuado de su estrategia de lujo y un gasto de $120 millones en un nuevo inventario. A consecuencia de las reducciones de inventario, Zales perdió $26.4 millones en el trimestre que finalizó el 31 de julio de 2006.

La compañía había tenido un cierto éxito con su nueva estrategia pero se vio afectada por el alza de los precios de los combustibles y la caída de los precios de las casas en 2007, que hicieron que sus clientes de clase media se sintieran menos seguros. Sus clientes principales dudaban para comprar joyería ya que estaban batallando con los altos precios de los alimentos y la gasolina. Zales reportó una utilidad de $1.5 millones en el trimestre que terminaba el 31 de julio de 2007, pero las ventas en las mismas tiendas cayeron 0.5%. En febrero de 2008 la compañía anunció un plan para cerrar cerca de 105 tiendas, reducir el inventario en $100 millones y reducir el personal en las oficinas principales de la compañía en cerca de 20%. El objetivo de este plan era mejorar la rentabilidad de la compañía y mejorar su eficiencia total. Sin embargo, la compañía perdió más de $200 millones en 2008 (tabla 4-15).

Tiffany

Tiffany comenzó en 1837 como un emporio de productos sofisticados y papel fino para cartas en Nueva York. Publicó su primer catálogo en 1845. La compañía disfrutaba de un gran éxito, en particular con sus diseños en plata que llegaron a ser muy populares por todo el mundo. En 1886 Tiffany introdujo su ahora famoso "montaje Tiffany" para anillos de compromiso solitarios. La marca Tiffany era tan fuerte que ayudó a establecer estándares de pureza de diamantes y platino de uso en todo el mundo. En 1950 Truman Capote publicó su éxito de librería *Breakfast at Tiffany's*, el cual fue lanzado como una película exitosa en 1961. Después de más de un siglo de éxito con su joyería y otros productos, la compañía empezó a cotizar en 1987.

Los productos de lujo de Tiffany incluían anillos, lazos de boda, joyería de gemas y pulseras con diamantes como gemas principales. La compañía también vendía joyas sin gemas, de oro, platino y plata sterling. Otros productos incluían relojes y artículos para el hogar como charolas de servicio de cristal y de plata sterling. Además

Tabla 4-15 Selección de datos financieros de Zale Corporation (en miles de dólares)

	julio 2008	julio 2009
Ingresos	2,138,041	1,779,744
Costo de las ventas	1,089,553	948,572
Gastos de ventas, generales y administrativos	969,769	934,249
Ganancias de operación	7,172	(208,964)
Activos corrientes		
Efectivo y equivalentes a efectivo	61,342	24,987
Otros activos corrientes	106,340	51,973
Inventarios	799,181	740,257
Activos totales corrientes	966,863	817,217
Propiedad y equipo, netos	297,887	238,138
Otros activos	35,946	29,480
Activos totales		

(Continúa)

(Continuación)

de sus propios diseños, Tiffany también vendía joyería diseñada por Elsa Peretti, Paloma Piccaso, el finado Jean Schlumberger y el arquitecto Frank Gehry.

En 2010 Tiffany tenía 220 tiendas y boutiques por todo el mundo, alrededor de 80 de ellas en Estados Unidos. De sus tiendas globales, Tiffany tenía más de 50 en Japón y casi 45 en el resto de la región Asia-Pacífico. Las tiendas variaban de 1,300 a 18,000 pies cuadrados con un promedio de 7,100. Su tienda insignia en Nueva York contribuyó con cerca de 10% de las ventas de la compañía en 2007. Además de en las tiendas minoristas, Tiffany también vendía productos a través de un sitio Web y catálogos. La compañía, sin embargo, no ofreció joyería de compromiso a través de su sitio Web a partir de 2010. Sus productos de lujo, incluida la joyería, se vendían principalmente a través de tiendas minoristas. El canal directo estaba enfocado en lo que Tiffany llamaba artículos "D", los cuales consistían principalmente en joyería de plata sterling sin gemas con un precio promedio de $200 en 2007. Las ventas de categoría D representaban cerca de 58% de las ventas totales para el canal directo. En contraste, más de la mitad de ventas minoristas provenían de productos de lujo como anillos de diamantes y joyas con gemas con un precio de venta promedio en 2007 de más de $3,000.

Tiffany conservó sus propias instalaciones de fabricación en Rhode Island y Nueva York pero también continúo abasteciéndose con terceros. En 2007, la compañía adquirió casi 60% de su joyería de instalaciones de fabricación internas. Tiffany tuvo un centro de servicio minorista dedicado a recibir productos de todo el mundo y a reabastecer sus tiendas minoristas. La compañía contaba con un centro de surtido de pedidos de clientes aparte para procesar los pedidos directos a los clientes.

Hasta 2003 la compañía no compraba diamantes en bruto, y estaba enfocada totalmente en la compra de piedras pulidas. Desde entonces la compañía estableció operaciones de procesamiento de diamantes en Canadá, Sudáfrica, Botswana, Namibia, Bélgica, China y Vietnam. En 2007, aproximadamente 40% de los diamantes utilizados por Tiffany se producían a partir de diamantes en bruto adquiridos por la compañía. No todos los diamantes en bruto podían ser tallados y pulidos según los estándares de calidad de Tiffany; los que cumplían con los estándares de Tiffany se vendían a terceros a precio de mercado, a veces con pérdida.

En 2007, 86% de las ventas netas de Tiffany provino de joyería, con cerca de 48% de las ventas netas proveniente de productos que contenían diamantes de varios tamaños.[6] Los productos que contenían uno o más diamantes de un carat o más grandes constituían más de 10% de las ventas netas en 2007. En la tabla 4-16 se muestra una selección de detalles financieros del desempeño de Tiffany durante este periodo.

La asociación de marcas de Tiffany con calidad, lujo y exclusividad fue una parte importante de su éxito.

Tabla 4-16 Selección de datos financieros de Tiffany& Co. (en miles de dólares)

	2008	2009
Ventas netas	2,848,859	2,709,704
Costo de las ventas	1,202,417	1,179,485
Utilidad bruta	1,646,442	1,530,219
Gastos de ventas, generales y administrativos	1,153,944	1,080,727
Ingresos de operación	394,659	440,492
Activos corrientes		
Efectivo y equivalentes a efectivo	160,445	785,702
Cuentas por cobrar comerciales	164,447	158,706
Inventarios	1,601,236	1,427,855
Activos corrientes totales	2,048,734	2,445,666
Propiedad y equipo, netos	741,048	685,101
Otros activos	145,984	173,768
Activos totales		

[6] Reporte Anual de Tiffany, marzo de 2008.

Ningún otro minorista de joyas y diamantes disfrutó los márgenes que Tiffany. En sus reportes anuales la compañía reportó la marca fuerte como un importante factor de riesgo, ya que cualquier dilución de la imagen de su marca tendría un importante impacto negativo en sus márgenes.

Preguntas de estudio

1. ¿Cuáles son algunos factores clave de éxito en las ventas minoristas de diamantes? ¿Cómo se comparan Blue Nile, Zales y Tiffany en esas dimensiones?
2. ¿Qué piensa de que Blue Nile vende más de 30,000 piedras a $2,500 cada una, o a más mientras que casi 60% de los productos vendidos por el sitio Web de Tiffany se vende a un precio de cercad de $200 cada uno? ¿Cuál de las dos categorías de productos es más adecuado para las fortalezas del canal en línea?
3. ¿Qué piensa de la decisión de Tiffany de no vender diamantes en línea?
4. Dado que las tiendas Tiffany se han esforzado con su enfoque en vender joyería de lujo, ¿qué piensa que ocasionó el fracaso de Zales con su estrategia de productos de lujo en 2006?
5. ¿Cuál de las tres compañías piensa que está mejor estructurada para enfrentar tiempos económicos débiles?
6. ¿Qué consejo le daría a cada una de las tres compañías con respecto a su estrategia y estructura?

5



Diseño de redes en la cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Entender el rol del diseño de una red en una cadena de suministro.
2. Identificar los factores que influyen en las decisiones de diseño de una red de cadena de suministro.
3. Desarrollar un marco para tomar decisiones sobre el diseño de una red.
4. Utilizar la optimización para decidir la ubicación de una instalación y la asignación de capacidad.

En este capítulo comenzamos con el diseño general de una cadena de suministro analizado en el capítulo 4 y se enfoca en las cuestiones fundamentales de ubicación de las instalaciones, asignación de la capacidad y asignación del mercado cuando se diseña la red de una cadena de suministro. Identificamos y analizamos los diversos factores que influyen en las decisiones de la ubicación de las instalaciones y la asignación de la capacidad y el mercado en una cadena de suministro. Luego establecemos un marco de referencia y explicamos varias metodologías de solución para las decisiones de diseño de una red en una cadena de suministro.

5.1 ROL DEL DISEÑO DE UNA RED EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Las *decisiones del diseño de una red* de la cadena de suministro incluyen la asignación del rol de las instalaciones: la ubicación de las instalaciones relacionadas con la fabricación, almacenaje o transporte, y la asignación de capacidad y mercados a cada instalación. Las decisiones de diseño de la red de una cadena de suministro se clasifican como sigue:

1. ***Rol de las instalaciones:*** ¿Qué rol debe desempeñar cada instalación? ¿Qué procesos se realizan en cada instalación?
2. ***Ubicación de las instalaciones:*** ¿Dónde deben ubicarse las instalaciones?
3. ***Asignación de la capacidad:*** ¿Qué tanta capacidad debe asignarse a cada instalación?
4. ***Asignación del mercado y el suministro:*** ¿Qué mercados debe atender cada instalación? ¿Qué fuentes de suministro deben alimentar a cada instalación?

Las decisiones de diseño de una red tienen un impacto significativo en el desempeño ya que determinan la configuración de la cadena de suministro y establecen las restricciones dentro de las cuales los demás controladores de la cadena de suministro pueden usarse para reducir su costo o para incrementar su capacidad de respuesta. Todas las decisiones de diseño de la red se afectan mutuamente y se deben tomar teniendo en cuenta este hecho. Las decisiones relacionadas con el rol de cada instalación son significativas porque determinan la flexibilidad que la cadena de suministro tiene al cambiar la forma de satisfacer la demanda. Por ejemplo, Toyota tiene plantas ubicadas en todo el mundo en cada mercado que atiende. Antes de 1997 cada planta sólo era capaz de atender su mercado local; esto perjudicó a Toyota cuando la economía asiática entró en recesión a finales de la década de 1990. Las plantas locales en Asia tenían

capacidad ociosa que no podían utilizar para atender un mercado que estaba experimentando un exceso de demanda. Toyota ha agregado flexibilidad a cada planta para que sea capaz de atender a otros mercados aparte del local. Esta flexibilidad adicional permite a Toyota enfrentar con más eficacia las condiciones cambiantes del mercado local. Asimismo, la flexibilidad de las plantas de Honda en Estados Unidos de producir SUVs (*Sport Utility Vehicle*) y automóviles en la misma planta fue útil en 2008 cuando la demanda de SUVs cayó, no así la demanda de automóviles pequeños.

Las decisiones de ubicación de las instalaciones tienen un impacto a largo plazo en el desempeño ya que es caro cerrarlas o trasladarlas a otro lugar. Una buena decisión de ubicación permite a una cadena de suministro tener capacidad de respuesta y mantener sus costos bajos. Toyota, por ejemplo, construyó en 1998 su primera planta de ensamble estadounidense en Lexington, Kentucky, y ha continuado construyendo plantas nuevas en Estados Unidos desde entonces. Las plantas estadounidenses fueron rentables para Toyota cuando el yen se fortaleció y los autos fabricados en Japón eran muy costosos como para competir con los autos fabricados en Estados Unidos. Las plantas locales permitieron a Toyota responder al mercado estadounidense al mismo tiempo que mantenía los costos bajos.

Mientras que la asignación de capacidad es más fácil de modificar que la ubicación, las decisiones sobre capacidad tienden a permanecer vigentes durante varios años. La asignación de demasiada capacidad a una ubicación conduce a una utilización deficiente y, en consecuencia, a costos altos. La asignación de poca capacidad a una instalación da lugar a una deficiente capacidad de respuesta si la demanda no se satisface, o a un costo alto si se satisface desde una instalación distante.

La asignación de fuentes de suministro y mercados a instalaciones tiene un impacto significativo en el desempeño ya que afecta los costos totales de producción, inventario y transporte en que ha incurrido la cadena de suministro para satisfacer la demanda de los clientes. Esta decisión debe reconsiderarse con regularidad, de modo que la asignación pueda cambiarse a medida que cambian los costos de producción y transporte, las condiciones del mercado o las capacidades de las plantas. Desde luego, la asignación de mercados y fuentes de suministro pueden cambiarse sólo si las instalaciones son lo bastante flexibles para atender diferentes mercados y recibir suministros de diferentes fuentes.

Las decisiones sobre el diseño de una red deben revisarse conforme las condiciones cambian o cuando dos compañías se fusionan. Por ejemplo, conforme su base de suscriptores creció, Netflix agregó cerca de 60 centros de distribución en 2010 a través de Estados Unidos para reducir el costo de transporte y mejorar la capacidad de respuesta. Con el crecimiento de la descarga de videos y la caída correspondiente en la renta de DVDs, Netflix se anticipó a cerrar algunos de sus centros de distribución cuando la demanda de renta de videos comenzó a decaer. El cambio de la ubicación y la asignación de la demanda de los centros de distribución ante la demanda cambiante han sido críticos para mantener los costos bajos y la capacidad de respuesta en Netflix.

Después de la fusión, la consolidación de algunas instalaciones y la reubicación así como el rol de otras a menudo permiten reducir los costos y mejorar la capacidad de respuesta debido a las redundancias y las diferencias en los mercados atendidos por cualquiera de las dos empresas por separado. Quizá también sea necesario revisar las decisiones de diseño de una red si, por ejemplo, los costos de transporte han cambiado significativamente. En 2008 P&G anunció que iba a reconsiderar su red de distribución, implementada cuando "el costo del petróleo era de $10 por barril".

Nos enfocamos en desarrollar tanto un marco como metodologías que puedan usarse en el diseño de una red de cadena de suministro.

5.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS DECISIONES DEL DISEÑO DE UNA RED

En esta sección examinamos una amplia variedad de factores que influyen en las decisiones del diseño de una red en cadenas de suministro.

Factores estratégicos

La estrategia competitiva de una empresa tiene un impacto significativo en las decisiones de diseño de una red dentro de la cadena de suministro. Las empresas enfocadas en el liderazgo de costos tienden a encontrar la ubicación de menor costo para sus instalaciones de fabricación, incluso si ello significa ubicarlas lejos de

los mercados que atienden. Los proveedores de servicios de fabricación de aparatos electrónicos como Foxcomm y Flextronics han tenido éxito en proporcionar servicios de ensamble de aparatos electrónicos a bajo costo al ubicar sus fábricas en países de costos bajos como China. En contraste, las empresas enfocadas en la capacidad de respuesta tienden a ubicar instalaciones cerca del mercado y suelen seleccionar una ubicación de alto costo si esta opción les permite reaccionar con rapidez a las necesidades del mercado cambiante. Zara, el fabricante español de ropa, tiene una gran parte de su capacidad de producción en Portugal y España a pesar del costo más alto allí. La capacidad local permite que la compañía responda de inmediato a las tendencias cambiantes de la moda en Europa. Esta capacidad de respuesta ha permitido a Zara convertirse en uno de los minoristas de ropa de más rápido crecimiento en el mundo.

Las cadenas de tiendas de conveniencia están enfocadas en proporcionar un fácil acceso a los clientes como parte de su estrategia competitiva. Por consiguiente, las redes de tiendas de conveniencia incluyen muchas tiendas relativamente pequeñas que cubren un área. En contraste, las tiendas de descuento como Sam's Club y Costco aplican una estrategia competitiva enfocada en proporcionar precios bajos, por lo que sus redes se componen de grandes tiendas, y con frecuencia los clientes tienen que recorrer muchos kilómetros para llegar a una. El área geográfica cubierta por una tienda de Sam's Club puede incluir docenas de tiendas de conveniencia.

Las redes de cadenas de suministro globales pueden apoyar mejor sus objetivos estratégicos con instalaciones en diferentes países que desempeñan roles diferentes. Por ejemplo, Zara cuenta con instalaciones tanto en Europa como en Asia. Sus instalaciones de producción en Asia fabrican principalmente productos de bajo costo estandarizados que vende en grandes cantidades. Las instalaciones europeas buscan tener capacidad de respuesta y producen sobre todo diseños innovadores cuya demanda es impredecible. Esta combinación de instalaciones permite a Zara producir una amplia variedad de productos de la manera más rentable.

Factores tecnológicos

Las características de las tecnologías de producción disponibles tienen un impacto significativo en las decisiones del diseño de una red. Si la tecnología de producción muestra economías de escala significativas, es más eficaz contar con pocas instalaciones. Es el caso de la fabricación de chips de computadora, para los que las fábricas requieren una gran inversión y la producción es relativamente económica de transportar. En consecuencia, la mayoría de las compañías de fabricantes de semiconductores construyen pocas instalaciones de alta capacidad.

Por el contrario, si las instalaciones tienen costos fijos bajos, se prefieren muchas instalaciones locales, ya que esto ayuda a reducir los costos de transporte. Coca-Cola establece muchas plantas embotelladoras en todo el mundo y cada una atiende su mercado local.

Factores macroeconómicos

Los *factores macroeconómicos* incluyen impuestos, aranceles, tipos de divisas y costos de envío que no dependen del control de cada empresa. Como el comercio global se ha incrementado, los factores macroeconómicos han influido significativamente en el éxito o fracaso de las redes de una cadena de suministro. Por consiguiente, es imperativo que las empresas tomen en cuenta estos factores cuando tomen decisiones para el diseño de una red.

ARANCELES E INCENTIVOS FISCALES Los *aranceles* son derechos que deben pagarse cuando los productos y/o equipo cruzan fronteras internacionales, estatales o municipales. Influyen fuertemente en las decisiones sobre ubicación en una cadena de suministro. Si un país aplica aranceles altos, las compañías o bien no atienden el mercado local o establecen plantas de fabricación en el país para ahorrar en los derechos. Los aranceles elevados provocan que haya más ubicaciones de producción en una red de cadena de suministro, cada una de ellas con una capacidad menor asignada. A medida que los aranceles se han reducido por la Organización Mundial de Comercio (WTO, *World Trade Organization*) y acuerdos regionales como el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (NAFTA, *North America Free Trade Agreement*), la Unión Europea y el Mercado Común del Sur (Mercosur), las empresas globales han consolidado su producción global e instalaciones de distribución.

Los *incentivos fiscales* son una reducción de los aranceles o impuestos que los países, estados o municipios suelen ofrecer para alentar a las empresas a establecer sus instalaciones en áreas específicas. Muchos

países varían los incentivos de ciudad a ciudad para estimular las inversiones en áreas de bajo desarrollo económico. Con frecuencia tales incentivos son un factor clave al decidir sobre la ubicación final de muchas plantas. BMW construyó su fábrica estadounidense en Spartanburg, Carolina del Sur, debido sobre todo a los incentivos fiscales que ofrecía dicho estado.

En países en desarrollo es frecuente que se creen *zonas de libre comercio* en las cuales los derechos y aranceles se flexibilizan en tanto que la producción se utilice principalmente para exportación. Esto constituye un fuerte incentivo para que las empresas globales establezcan plantas en estos países para poder explotar sus bajos costos de mano de obra. En China, por ejemplo, el establecimiento de una zona de libre comercio cerca de Guangzhou hizo que muchas empresas ubicaran ahí sus instalaciones en la década de 1990.

Un gran número de países en desarrollo también ofrecen incentivos fiscales adicionales con base en la capacitación, comidas, transporte y otras prestaciones ofrecidas a la fuerza laboral. Los aranceles también pueden variar con base en el nivel de tecnología del producto. China, por ejemplo, condonó por completo los aranceles para productos de "alta tecnología" en un esfuerzo por alentar a las compañías a establecerse allí e introducir su tecnología de vanguardia. Motorola estableció una gran planta de fabricación de chips en China para aprovechar los aranceles reducidos y otros incentivos disponibles para productos de alta tecnología.

Muchos países también imponen requisitos mínimos de contenido local y límites sobre las importaciones para ayudar a desarrollar fabricantes locales. Tales políticas alientan a las compañías globales a establecer instalaciones locales y a abastecerse con proveedores locales. Por ejemplo, la compañía española Gamesa era un proveedor dominante de turbinas de viento para China y poseía cerca de un tercio del mercado en 2005. En ese año China declaró que los parques eólicos tenían que comprar equipo en el que al menos 70% del contenido fuera de contenido local. Esto obligó a empresas como Gamesa y GE, que deseaban una parte del mercado chino, a capacitar proveedores locales y a abastecerse con ellos. En 2009 China revocó los requisitos de contenido local, mas para entonces los proveedores chinos habían crecido lo suficiente para obtener algunos de los costos más bajos en el mundo. Estos proveedores también vendían partes a competidores chinos de Gamesa, quienes se convirtieron en actores globales dominantes.

TIPO DE CAMBIO Y RIESGO EN LA DEMANDA Las fluctuaciones de los tipos de cambio son comunes y tienen un impacto significativo en las utilidades de cualquier cadena de suministro que atienda mercados globales. Por ejemplo, el dólar fluctuó entre 124 yenes en 2007 y 81 yenes en 2010. Una empresa que vende su producto en Estados Unidos con producción en Japón se expone al riesgo de revalorización del yen. El costo de producción se incurre en yenes, mientras que los ingresos se obtienen en dólares. Por consiguiente, un incremento del valor del yen incrementa el costo de producción en dólares y reduce las utilidades de la empresa. En la década de 1980, muchos fabricantes japoneses enfrentaron este problema cuando el yen se revalorizó debido a que la mayor parte de su capacidad de producción se encontraba en Japón. La revalorización del yen redujo sus ingresos (en términos de yenes) provenientes de los grandes mercados externos y vieron como disminuían sus utilidades. La mayoría de los fabricantes japoneses respondieron construyendo instalaciones de producción en todo el mundo. El dólar fluctuó entre 0.63 y 1.15 euros en el sexenio de 2002 a 2008, y cayó a 0.63 euros en julio de 2008. La caída del dólar fue particularmente negativa para los fabricantes de automóviles europeos como Daimler, BMW y Porsche, los cuales exportan muchos vehículos a Estados Unidos. Se reportó que por cada centavo de aumento en el euro, a BMW y a Mercedes les costaba cerca de $75 millones a cada una al año. Sin embargo, para junio de 2010, el dólar había subido a 0.83 euros.

Los riesgos de los tipos de cambios pueden manejarse con instrumentos financieros que limitan o protegen contra la pérdida provocada por fluctuaciones. Sin embargo, las redes de cadena de suministro adecuadamente diseñadas ofrecen la oportunidad de aprovechar las fluctuaciones del tipo de cambio e incrementan las utilidades. Una forma eficaz de hacerlo es construir un poco de sobrecapacidad en la red y hacer que la capacidad sea flexible de modo que pueda usarse para abastecer diferentes mercados. Esta flexibilidad permite que la empresa reaccione ante las fluctuaciones del tipo de cambio al modificar los flujos de producción en la cadena de suministro para maximizar las utilidades.

Las empresas también deben tomar en cuenta las fluctuaciones de la demanda provocadas por cambios en las economías de diferentes países. Por ejemplo, 2009 fue un año en el que las economías de Estados Unidos y Europa Occidental se contrajeron (el PIB real en Estados Unidos se redujo a 2.4%) mientras que en China creció más de 8% y en la India cerca de 7%. Durante este periodo, las compañías globales con presencia en China y la India, así como la flexibilidad de desviar recursos de mercados disminuidos a mercados en crecimiento funcionaron mejor que las que no tenían presencia en estos mercados o la flexibilidad. Al seguir

creciendo las economías de Brasil, China y la India, las cadenas de suministro globales deberán obtener más presencia local y flexibilidad en estos países para atender múltiples mercados.

COSTOS DE FLETES Y COMBUSTIBLE Las fluctuaciones en los costos de fletes y combustibles tienen un impacto significativo en las utilidades de cualquier cadena de suministro global. Por ejemplo, sólo en 2010, el Baltic Dry Index (índice de los fletes marítimos de carga a granel seca), el cual mide el costo de transportar materias primas como metales, granos y combustibles fósiles, subió a 4,187 en mayo y bajó a 1,709 en julio. Los precios del petróleo crudo bajaron a cerca de $31 por barril en febrero de 2009 y subieron a casi $90 por barril en diciembre de 2010. Puede ser difícil enfrentar este grado de fluctuación de los precios incluso con flexibilidad en la cadena de suministro. Tales fluctuaciones se enfrentan mejor con cobertura de precios en mercados de bienes producidos en masa o con la firma de contratos adecuados en el largo plazo. Durante la primera década del siglo XXI, una importante fracción de las utilidades de la aerolínea Southwest se atribuyó a la cobertura de combustible que había adquirido a buenos precios.

Cuando se diseñan redes de cadena de suministro, las compañías deben tener en cuenta las fluctuaciones de los tipos de cambio, la demanda y los costos de fletes y combustibles.

Factores políticos

La estabilidad política del país considerado desempeña un rol significativo en la elección de la ubicación. Las compañías prefieren ubicar sus instalaciones en países políticamente estables donde las reglas de comercio y propiedad estén bien definidas. Como el riesgo político es difícil de cuantificar, existen algunos índices como el de riesgo político global (GPRI) que las compañías pueden utilizar cuando invierten en mercados emergentes. El GPRI es evaluado por una empresa consultora (Eurasia Group) y se enfoca en medir la capacidad de un país de soportar sacudidas y crisis a lo largo de cuatro categorías: gobierno, sociedad, seguridad y economía.

Factores de infraestructura

La disponibilidad de una buena infraestructura es un prerrequisito importante para ubicar una instalación en un área dada. Una infraestructura deficiente se suma al costo de realizar negocios desde una ubicación dada. En la década de 1990 compañías globales ubicaron sus fábricas en China cerca de Shanghai, Tianjin o Guangzhou —aun cuando estas localidades no tenían un menor costo de mano obra y de terreno— porque contaban con una buena infraestructura. Los elementos clave de infraestructura que deben considerarse durante el diseño de una red incluyen la disponibilidad de sitios y mano de obra, la proximidad a terminales de transporte, servicio de ferrocarril, proximidad a aeropuertos y puertos marítimos, acceso a carreteras, congestionamiento y servicios locales.

Factores competitivos

Las compañías deben considerar la estrategia, el tamaño y la ubicación de los competidores. Una decisión fundamental que las empresas deben tomar es la de ubicar sus instalaciones cerca o lejos de los competidores. La forma de la competencia y factores como disponibilidad de materias primas o de mano de obra influyen en esta decisión.

EXTERNALIDADES POSITIVAS ENTRE EMPRESAS Las *externalidades positivas* ocurren cuando la colocación de múltiples empresas las beneficia a todas. Las externalidades positivas hacen que los competidores se ubiquen cerca unos de otros. Por ejemplo, las tiendas minoristas tienden a ubicarse muy cercanas porque de esta manera se incrementa la demanda total, y por consiguiente todas las partes se benefician. Al ubicarse juntas en un centro comercial, las tiendas minoristas competidoras brindan más comodidad a los clientes, que tienen que trasladarse a un lugar solamente para encontrar todo lo que están buscando. Esto incrementa el total de clientes que visitan el centro comercial así como la demanda para todas las tiendas allí ubicadas.

Otro ejemplo de externalidad positiva ocurre cuando la presencia de un competidor trae consigo el desarrollo de infraestructura apropiada en un área en desarrollo. En la India, Suzuki fue el primer fabricante extranjero de automóviles en establecer una fábrica. La compañía hizo un esfuerzo considerable y construyó una red de proveedores locales. Dada la base de proveedores bien establecida en la India, los competidores de Suzuki también comenzaron a construir plantas de ensamble allí, al descubrir que es más eficaz construir automóviles en la India que importarlos.



FIGURA 5-1 Dos compañías ubicadas en una línea.

UBICAR PARA DIVIDIR EL MERCADO Cuando no existen externalidades positivas, las compañías se ubican para poder captar la mayor parte del mercado. Un modelo simple propuesto por primera vez por Hotelling explica los aspectos detrás de esta decisión.[1]

Cuando las empresas no controlan el precio, pero compiten en cuanto a la distancia al cliente, pueden maximizar su parte del mercado si se ubican cerca unas de otras y se dividen el mercado. Consideremos una situación en la que los clientes están uniformemente ubicados a lo largo del segmento de línea entre 0 y 1 y dos empresas compiten con base en la distancia al cliente, como se muestra en la figura 5-1. Un cliente se dirige a la empresa más cercana y los clientes que se encuentran equidistantes de las dos empresas se reparten equitativamente entre ellas.

Si la demanda total es 1, la empresa 1 se encuentra en el punto a y la 2 en el punto $1 - b$, entonces la demanda en las dos empresas, d_1 y d_2, está dada por

$$d_1 = a + \frac{1 - b - a}{2} \quad \text{y} \quad d_2 = \frac{1 + b - a}{2}$$

Ambas empresas maximizan su participación en el mercado al acercarse entre sí y ubicarse en $a = b = ½$.

Observamos que cuando ambas empresas se encuentran a la mitad de la línea, la distancia promedio que los clientes tienen que recorrer es de ¼. Si una se ubica en ¼ y la otra en ¾, la distancia promedio que los clientes tienen que recorrer se reduce a 1/8 (los clientes situados entre 0 y ½ se dirigen a la empresa 1 ubicada en ¼ mientras que los clientes situados entre ½ y 1 se dirigen a la 2 situada en ¾). Sin embargo, esta disposición de instalaciones no está en equilibrio ya que da a ambas empresas un incentivo para incrementar su participación de mercado al moverse a la mitad (más cerca de ½). El resultado de la competencia es que las dos empresas se ubiquen lo más cerca una de otra, aun cuando al hacerlo se incremente la distancia promedio al cliente.

Si compiten en precio y el cliente incurre en el costo de transporte, lo óptimo para las dos empresas es localizarse lo más lejos posible una de otra,[2] con la empresa 1 localizada en 0 y la 2 en 1. Ubicarse lejos una de otra minimiza la competencia en precios y les ayuda a repartirse el mercado y a maximizar las utilidades.

Tiempo de respuesta al cliente y presencia local

Las empresas enfocadas en clientes que valoran un tiempo de respuesta corto deben ubicarse cerca de ellos. Por ejemplo, es improbable que los clientes acudan a una tienda de conveniencia si tienen que recorrer una gran distancia para llegar a ella. Por tanto, lo mejor para una cadena de tiendas de conveniencia es contar con muchas tiendas distribuidas en un área, de manera que la mayor parte de los clientes cuenten con una tienda cercana. En contraste, los clientes compran grandes cantidades de productos en supermercados y están dispuestos a recorrer distancias más grandes para llegar a uno. Así pues, las cadenas de supermercados tienden a tener tiendas que son más grandes que las tiendas de conveniencia y no tan densamente distribuidas. En la mayoría de las ciudades hay menos supermercados que tiendas de conveniencia. Las tiendas de descuento como Sam's Club captan clientes que incluso son menos sensibles al tiempo. Estas tiendas son incluso más grandes que los supermercados y hay pocas de ellas en un área. W. W. Grainger utiliza cerca de 400 instalaciones por todo Estados Unidos para entregar el mismo día productos de mantenimiento y reparación a muchos de sus clientes. McMaster-Carr, un competidor, capta clientes que están dispuestos a esperar un

[1] Jean Tirole, (1997). *The Theory of Industrial Organization.* Cambridge, MA: The MIT Press, p. 279.
[2] Idem.

día para que les entreguen su pedido. McMaster-Carr cuenta con sólo cinco instalaciones en todo Estados Unidos y es capaz de realizar entregas al día siguiente a un gran número de clientes.

Si una empresa entrega su producto a los clientes, el uso de medios de transporte rápidos le permite construir pocas instalaciones y seguir proporcionando un tiempo de respuesta corto. Sin embargo, esta opción incrementa los costos de transporte; además, se presentan muchas situaciones en las cuales la presencia de una instalación cercana al cliente es importante. Es probable que una cafetería atraiga clientes que viven o trabajan cerca. Ningún medio de transporte por más rápido que sea puede servir como sustituto y usarse para atraer clientes que viven lejos de la cafetería.

Costos de logística e instalaciones

Los costos de logística e instalaciones incurridos dentro de la cadena de suministro cambian conforme el número de instalaciones, su ubicación y la asignación de su capacidad también cambian. Las compañías deben considerar los costos de inventario, transporte e instalaciones cuando diseñan sus redes de cadena de suministro.

Los costos de inventario e instalaciones se incrementan al aumentar el número de éstas en una cadena de suministro. Los costos de transporte se reducen conforme el número de instalaciones se incrementa. Si el número de instalaciones se incrementa al grado en que las economías de escala de entrada se pierden, entonces los costos de transporte se incrementan, Por ejemplo, con pocas instalaciones, Amazon.com incurre en menos costos de inventario e instalaciones que Barnes & Noble, que tiene cientos de tiendas y, sin embargo, tiene costos de transporte más bajos.

En el diseño de la red de la cadena de suministro también influye la transformación que ocurre en cada instalación. Cuando el peso o volumen del material se reduce significativamente a consecuencia del procesamiento, puede ser más conveniente ubicar las instalaciones más cerca de la fuente de aprovisionamiento que del cliente. Por ejemplo, cuando se procesa mineral de hierro para fabricar acero, la cantidad de producción es una pequeña fracción de la cantidad de mineral utilizada. Es preferible ubicar la fábrica cerca de la fuente de aprovisionamiento porque se reduce la distancia que la gran cantidad de mineral tiene que recorrer.

Los costos de logística totales son la suma de los costos de inventario, transporte e instalaciones. Las instalaciones en una red de cadena de suministro deben al menos igualar el número que minimice el costo de logística total. Una empresa puede incrementar el número de instalaciones más allá de este punto para mejorar el tiempo de respuesta a sus clientes. Esta decisión se justifica si el incremento de los ingresos derivado de la respuesta mejorada supera el costo incrementado derivado de las instalaciones adicionales.

En la siguiente sección analizamos un marco para tomar decisiones relacionadas con el diseño de redes.

5.3 MARCO PARA TOMAR DECISIONES DE DISEÑO DE UNA RED

El objetivo cuando se diseña una red de cadena de suministro es maximizar las utilidades de la compañía al mismo tiempo que se satisfacen las necesidades del cliente en términos de demanda y capacidad de respuesta. Para diseñar una red eficaz, un gerente debe considerar todos los factores descritos en la sección 5.2 y los analizados en el capítulo 4. Las decisiones de diseño de una red global se toman en cuatro fases como se muestra en la figura 5-2. Cada fase de describe con mayor detalle.

Fase I: Definir la estrategia o diseño de una cadena de suministro

El objetivo de la primera fase del diseño de una red es definir de manera general el diseño de la cadena de suministro de la empresa. Éste incluye determinar las etapas en la cadena de suministro y si cada función de la cadena se realizará internamente o se subcontratará (vea el capítulo 4).

La fase I se inicia con una clara definición de la estrategia competitiva de la compañía como el conjunto de necesidades del cliente que la cadena de suministro busca satisfacer. La estrategia de la cadena de suministro especifica entonces las capacidades que la red de la cadena de suministro debe tener para apoyar la estrategia competitiva (vea el capítulo 2). A continuación, los gerentes deben pronosticar la probable evolución de la competencia global y si los competidores en cada mercado serán participantes locales o globales. También deben identificar las restricciones con respecto al capital disponible y si el crecimiento se logrará adquiriendo instalaciones existentes, construyendo nuevas o por participación en sociedades.

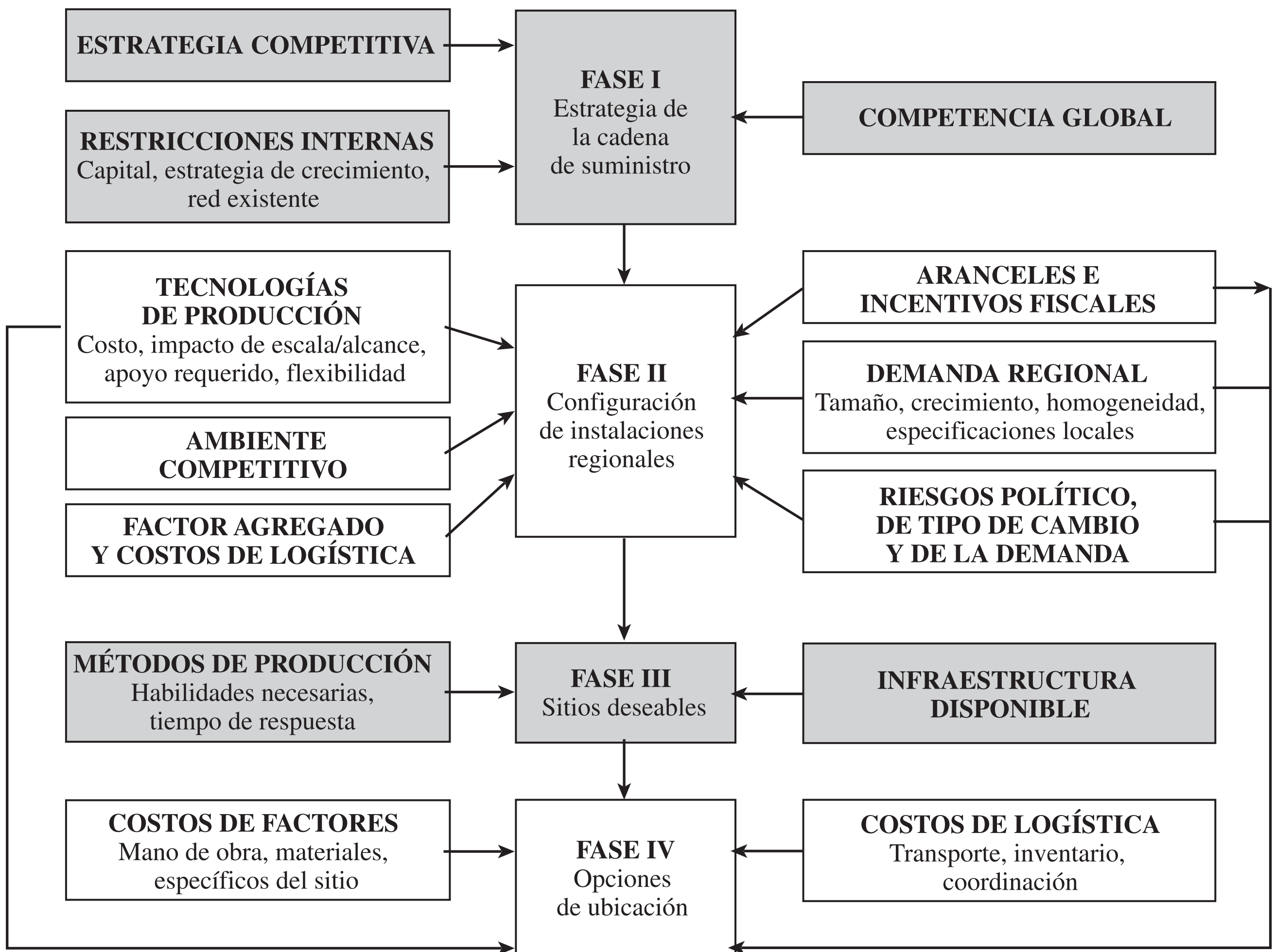


FIGURA 5-2 Marco para tomar decisiones de diseño de una red.

Con base en la estrategia competitiva de la empresa, su estrategia de la cadena de suministro resultante, un análisis de la competencia, cualquier economía de escala o alcance, y cualesquier restricciones, los gerentes deben determinar el diseño general de la cadena de suministro para la empresa.

FASE II: Definir la configuración regional de las instalaciones

El objetivo de la segunda fase del diseño de una red es identificar las regiones donde se ubicarán las instalaciones, sus funciones potenciales y su capacidad aproximada.

Un análisis de la fase II comienza con un pronóstico de la demanda por país o región. Tal pronóstico debe incluir una medición del tamaño de la demanda y una determinación de la homogeneidad o variabilidad de los requerimientos del cliente a través de las diferentes regiones. Los requerimientos homogéneos favorecen las instalaciones grandes consolidadas, mientras que los requerimientos que varían a través de los países favorecen las instalaciones pequeñas *focalizadas*.

El siguiente paso es que los gerentes identifiquen si las economías de escala o alcance pueden desempeñar un papel significativo en la reducción de costos, dadas las tecnologías de producción disponibles. Si las economías de escala o alcance son significativas, quizá sea mejor contar con pocas instalaciones que atiendan a muchos mercados. Por ejemplo, los fabricantes de semiconductores como Advanced Micro Devices cuentan con pocas plantas para atender sus mercados globales, dadas las economías de escala en la producción. Si las economías de escala o alcance no son significativas, lo mejor sería que cada mercado contara con su propia instalación.

A continuación los gerentes deben identificar el riesgo de la demanda, del tipo de cambio, y el riesgo político asociados con los mercados regionales. También deben identificar los aranceles regionales, cualquier requerimiento de producción local, los incentivos locales y cualesquier restricciones de exportación o importación de cada mercado. La información sobre impuestos y aranceles se utiliza para identificar la mejor ubicación para obtener la mayor parte de las utilidades. En general, es mejor obtener la mayor parte de las utilidades en la ubicación con la menor tasa impositiva.

También deben identificar a los competidores en cada región y considerar si una instalación debe ubicarse cerca a o lejos de las instalaciones de un competidor, así como el tiempo de respuesta deseado para cada mercado y los costos de logística a un nivel agregado en cada región.

Con base en toda esta información deben identificar la configuración regional de las instalaciones de la red de la cadena de suministro utilizando los modelos de diseño de red que se analizan en la siguiente sección. La configuración regional define el número aproximado de instalaciones en la red, las regiones donde se establecerán o si una instalación producirá todos los productos para un mercado determinado o pocos productos para todos los mercados en la red.

Fase III: Seleccionar un conjunto de sitios potenciales deseables

El objetivo de la fase III es seleccionar un grupo de sitios potenciales deseables en cada región donde se van a ubicar las instalaciones. Los sitios deben seleccionarse con base en un análisis de disponibilidad de infraestructura para apoyar las metodologías de producción deseadas. Los *requerimientos de infraestructura dura* incluyen la disponibilidad de proveedores, los servicios de transporte, la comunicación, los servicios y las instalaciones de almacenamiento. Los *requerimientos de infraestructura suave* son la disponibilidad de mano de obra especializada, la rotación de la fuerza laboral y la receptividad de la comunidad al negocio e industria.

Fase IV. Opciones de ubicación

El objetivo de la fase IV es seleccionar una ubicación precisa y la asignación de la capacidad para cada instalación. La atención se limita a los sitios potenciales deseables seleccionados en la fase III. La red se diseña para maximizar las utilidades totales, tomando en cuenta el margen y la demanda esperados en cada mercado, los diversos costos de logística e instalaciones, los impuestos y aranceles en cada lugar.

En la siguiente sección analizamos metodologías para tomar decisiones en relación con la ubicación de las instalaciones y la asignación de la capacidad durante las fases II a IV.

5.4 MODELOS PARA LA UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES Y LA ASIGNACIÓN DE LA CAPACIDAD

El objetivo de un gerente al ubicar las instalaciones y asignar la capacidad debe ser maximizar la rentabilidad total de la red de la cadena de suministro resultante y, al mismo tiempo, proporcionar a los clientes la capacidad de respuesta apropiada. Los ingresos provienen de la venta de productos, y los costos provienen de las instalaciones, mano de obra, transporte, materiales e inventarios. Los impuestos y aranceles afectan las utilidades de la empresa, e idealmente las utilidades después de impuestos y aranceles deben maximizarse al diseñar la red de la cadena de suministro.

Un gerente debe considerar muchas disyuntivas durante el diseño de una red. Por ejemplo, la construcción de muchas instalaciones para atender los mercados locales reduce el costo de transporte y proporciona un tiempo de respuesta rápido, pero aumenta los costos de instalaciones e inventario en que incurre la empresa.

Hay dos situaciones en las que los gerentes usan los modelos de diseño de una red. En la primera estos modelos se emplean para decidir los sitios donde se establecerán las instalaciones y la capacidad que se asignará a cada una. Deben tomar esta decisión considerando un horizonte de tiempo durante el cual las ubicaciones y capacidades no se modificarán (generalmente en años). En la segunda se utilizan para asignar la demanda actual a las instalaciones disponibles e identificar las rutas de transporte del producto. Deben considerar esta decisión por lo menos anualmente conforme cambian la demanda, los precios, el tipo de cambio y los aranceles. En ambos casos el objetivo es maximizar las utilidades sin dejar de satisfacer las necesidades del cliente. Idealmente, la siguiente información está disponible al tomar la decisión de diseño:

- Ubicación de las fuentes de abastecimiento y mercados
- Ubicación de los sitios de las posibles instalaciones
- Pronóstico de la demanda por mercado
- Costos de instalación, mano de obra y material por sitio
- Costos de transporte entre cada par de sitios
- Costos de inventario por sitio y como una función de la cantidad
- Precio de venta del producto en diferentes regiones
- Impuestos y aranceles
- Tiempo de respuesta deseado y otros factores de servicio

Con esta información se pueden utilizar modelos de gravedad o de optimización para diseñar la red. Organizamos los modelos de acuerdo con la fase del marco de diseño de la red en que probablemente cada modelo sea útil.

Fase II: Modelos de optimización de redes

Durante la fase II del marco de diseño de la red (vea la figura 5-2), un gerente considera la demanda, los aranceles, las economías de escala y los costos agregados de los factores regionales para decidir las regiones donde se ubicarán las instalaciones. Como ejemplo, consideremos a Sun Oil, un fabricante de productos petroquímicos con ventas en todo el mundo. El vicepresidente de la cadena de suministro está considerando varias opciones para satisfacer la demanda. Una posibilidad es construir una instalación en cada región, con la ventaja de este método de que disminuye los costos de transporte y ayuda a evitar los aranceles que pueden aplicarse si el producto se importa de otras regiones. Su desventaja es que el tamaño de las plantas debe ser el adecuado para satisfacer la demanda local y quizá no explote del todo las economías de escala. Un método alternativo es consolidar plantas en algunas regiones. Esto mejora las economías de escala pero incrementa los costos de transporte y los impuestos. Durante la fase II el gerente debe considerar estas disyuntivas cuantificables junto con factores no cuantificables tales como el ambiente competitivo y el riesgo político.

Los modelos de optimización de redes son útiles para los gerentes que consideran la configuración regional durante la fase II. El primer paso es recopilar los datos de manera que puedan utilizarse en un modelo cuantitativo. Por lo que se refiere a Sun Oil, el vicepresidente de la cadena de suministro decide considerar la demanda en función de cinco regiones: Norteamérica, Sudamérica, Europa, África y Asia. Los datos recopilados se muestran en la figura 5-3.

La demanda anual en cada una de las regiones se muestra en las celdas B9-F9. Las celdas B4-F8 contienen el costo variable de producción, inventario y transporte (incluyendo aranceles y derechos) de producir en una región para satisfacer la demanda en cada región individual. Todos los costos están en miles de dólares. Por ejemplo, como se muestra en la celda C4, producir un millón de unidades en Norteamérica y venderlas en Sudamérica cuesta $92,000 (incluyendo derechos). Como se muestra en la celda G4, hay un costo fijo anualizado de $6,000,000 para construir una instalación de baja capacidad en Norteamérica. Observamos que los datos recopilados en esta etapa están a un nivel más o menos agregado.

En cada instalación hay costos fijos y variables asociados con las instalaciones, el transporte y los inventarios. Los costos fijos son aquellos en los que se incurre independientemente de cuanto se produce o envía desde una instalación. Los costos variables con aquellos en los que se incurre en proporción a lo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	**Entradas – Costos, Capacidades, Demandas**									
2		*Región de la demanda* *Costo de producción y transporte por cada millón de unidades*					**Costo**	**Capacidad**	**Costo**	**Capacidad**
3	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	**fijo ($)**	**baja**	**fijo ($)**	**alta**
4	N. América	81	92	101	130	115	6,000	10	9,000	20
5	S. América	117	77	108	98	100	4,500	10	6,750	20
6	Europa	102	105	95	119	111	6,500	10	9,750	20
7	Asia	115	125	90	59	74	4,100	10	6,150	20
8	África	142	100	103	105	71	4,000	10	6,000	20
9	*Demanda*	12	8	14	16	7				

FIGURA 5-3 Datos de costos (en miles de dólares) y datos de la demanda (en millones de unidades) de Sun Oil.

producido o enviado desde una instalación dada. Los costos de instalación, transporte e inventario en general muestran economías de escala y el costo marginal se reduce conforme la cantidad producida se incrementa. Sin embargo, en los modelos consideramos que todos los costos variables crecen linealmente con la cantidad producida o enviada.

SunOil está considerando dos tamaños de planta en cada ubicación. Las plantas de baja capacidad pueden producir 10 millones de unidades por año, mientras que las de alta capacidad pueden producir 20 millones por año, como se muestra en las celdas H4-H8 y J4-J8, respectivamente. Las plantas de alta capacidad muestran algunas economías de escala y sus costos fijos son menos del doble de los de una planta de baja capacidad, como se observa en las celdas I4-I8. Todos los costos fijos están anualizados. El vicepresidente desea saber cómo sería la red de menor costo. Para responder a esta pregunta analizamos el modelo de ubicación de planta capacitada, que pueda usarse en esta situación.

MODELO DE UBICACIÓN DE UNA PLANTA CAPACITADA El modelo de optimización de redes de ubicación de una planta capacitada requiere los siguientes datos:

n = número de posibles ubicaciones y capacidades de la planta potencial (cada nivel de capacidad contará como una ubicación aparte)

m = número de mercados o puntos de demanda

D_j = demanda anual del mercado j

K_i = capacidad potencial de la planta i

f_i = costo fijo anualizado para mantener abierta la fábrica i

c_{ij} = costo de producir y enviar una unidad desde la fábrica i al mercado j (el costo incluye los costos de producción, inventario, transporte y los aranceles)

El objetivo del equipo de la cadena de suministro es decidir sobre un diseño de red que maximice las utilidades después de impuestos. Sin embargo, por simplicidad, se supone que toda la demanda debe satisfacerse y que se omiten los impuestos sobre utilidades. El modelo, por tanto, se enfoca en minimizar el costo de satisfacer la demanda global. Sin embargo, se puede modificar para incluir las utilidades e impuestos. Definamos las siguientes variables de decisión:

y_i = 1 si la planta i está abierta, 0 si está cerrada

x_{ij} = cantidad enviada desde la planta i al mercado j

El problema se formula entonces como el siguiente programa entero:

$$Min = \sum_{i=1}^{n} f_i y_i = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = D_j \quad \text{con} \quad j = 1, \ldots, m \tag{5.1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \le K_i y_i \quad \text{con} \quad i = 1, \ldots, n \tag{5.2}$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \text{con} \quad i = 1, \ldots, n, x_{ij} \ge 0 \tag{5.3}$$

La función objetivo minimiza el costo total (fijo + variable) de establecer y operar la red. La restricción en la ecuación 5.1 requiere que se satisfaga la demanda en cada mercado regional. La restricción en la ecuación 5.2 estipula que ninguna planta puede abastecer más de lo que permite su capacidad. (Evidentemente, la capacidad es 0 si la planta está cerrada, y K_i si está abierta. El producto de los términos, $K_i y_i$, capta este efecto.) La restricción en la ecuación 5.3 refuerza el que cada planta esté abierta ($y_i = 1$) o cerrada ($y_i = 0$). La solución identifica las plantas que deben mantenerse abiertas, su capacidad y la asignación de la demanda regional.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	*Entradas– Costos, Capacidades, Demandas*									
2		*Región de la demanda Costo de producción y transporte por cada millón de unidades*					Costo	Baja	Costo	Alta
3	Región de abasto	N. América	S. América	Europa	Asia	África	fijo ($)	capacidad	fijo ($)	capacidad
4	N. América	81	92	101	130	115	6,000	10	9,000	20
5	S. América	117	77	108	98	100	4,500	10	6,750	20
6	Europa	102	105	95	119	111	6,500	10	9,750	20
7	Asia	115	125	90	59	74	4,100	10	6,150	20
8	África	142	100	103	105	71	4,000	10	6,000	20
9	*Demanda*	12	8	14	16	7				
10										
11	*Variables de decisión*									
12		*Región de la demanda - Asignación de la producción (millón de unidades)*					Plantas	Plantas		
13	*Región abastecimiento*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	(1 = abiertas)	(1 = abiertas)		
14	N. América	0	0	0	0	0	0	0		
15	S. América	0	0	0	0	0	0	0		
16	Europa	0	0	0	0	0	0	0		
17	Asia	0	0	0	0	0	0	0		
18	África	0	0	0	0	0	0	0		

FIGURA 5-4 Área de la hoja de cálculo para las variables de decisión de SunOil.

El modelo se resuelve con la herramienta Solver de Excel. Dados los datos, el siguiente paso en Excel es identificar correspondientes a cada variable de decisión como se muestra en la figura 5-4. Las celdas B14:F18 corresponden a las variables de decisión x_{ij} y determinan la cantidad producida en una región de abastecimiento y enviada a la región de demanda. Las celdas G4:G18 incluyen las variables de decisión y_i correspondientes a las plantas de baja capacidad, y las celdas H14:H18 contienen las variables de decisión y_i correspondientes a las plantas de alta capacidad. Al principio todas las variables de decisión se ponen en 0.

El siguiente paso es construir celdas para las restricciones de las ecuaciones 5.1 y 5.2 y la función objetivo. Las celdas de las restricciones y la función objetivo se muestran en la figura 5.5. Las celdas B22:B26 contienen las restricciones de capacidad de la ecuación 5.2, y las celdas B28:F28 contienen las restricciones de la demanda de la ecuación 5.1. La función objetivo se muestra en la celda B31 y mide el costo fijo total más el costo variable de operación de la red.

Luego se utiliza Data|Solver para invocar la herramienta Solver, como se muestra en la figura 5-6. En Solver, el objetivo es minimizar el costo total en la celda B31. Las variables están en las celdas B14:H18. Las restricciones son las siguientes:

B14:H18 ≥ 0 $\{$Todas las variables de decisión son no negativas$\}$

B22:B26 ≥ 0 $$\left\{K_i y_i - \sum_{j=1}^{m} x_{ij} \geq 0 \text{ con } i = 1,\ldots,5\right\}$$

B28:F28 $= 0$ $$\left\{D_j - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 0 \text{ con } j = 1,\ldots,5\right\}$$

G14:H18 *binarias* $\{$Las variables de ubicación y_i son binarias; es decir, 0 o 1$\}$

En el cuadro de diálogo *Solver Parameters* haga clic en *Solve* para obtener la solución óptima, como se muestra en la figura 5-7. De acuerdo con ésta, el equipo de la cadena de suministro concluye que la cadena de menor costo tendrá instalaciones ubicadas en Sudamérica (celda H15 = 1), Asia (celda H17 = 1) y África (celda H18 = 1). Además, deberá planearse una planta de alta capacidad en cada región. La planta en Sudamérica satisface la demanda de Norteamérica (celda B15), mientras que las plantas de Asia (celda D17) y África (celda D18) satisfacen la de Europa.

El modelo recién analizado puede modificarse para incluir los imperativos estratégicos que requieran la ubicación de una planta en alguna región. Por ejemplo, si SunOil decide ubicar una planta en Europa por razones estratégicas, podemos modificar el modelo si agregamos una restricción que requiera que en Europa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	*Entradas— Costos, Capacidades, Demandas*									
2		*Región de la demanda* *Costo de producción y transporte por cada millón de unidades*					**Costo**	**Baja**	**Costo**	**Alta**
3	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	**fijo ($)**	**capacidad**	**fijo ($)**	**capacidad**
4	N. América	81	92	101	130	115	6,000	10	9,000	20
5	S. América	117	77	108	98	100	4,500	10	6,750	20
6	Europa	102	105	95	119	111	6,500	10	9,750	20
7	Asia	115	125	90	59	74	4,100	10	6,150	20
8	África	142	100	103	105	71	4,000	10	6,000	20
9	*Demanda*	12	8	14	16	7				
10										
11	*Variables de decisión*									
12		*Región de la demanda Asignación de la producción por cada millón de unidades*					Plantas	Plantas		
13	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	(1 = abiertas)	(1 = abiertas)		
14	N. América	0	0	0	0	0	0	0		
15	S. América	0	0	0	0	0	0	0		
16	Europa	0	0	0	0	0	0	0		
17	Asia	0	0	0	0	0	0	0		
18	África	0	0	0	0	0	0	0		
19										
20	*Restricciones*									
21	*Región de abasto*	*Capacidad excedente*								
22	N. América	0								
23	S. América	0								
24	Europa	0								
25	Asia	0								
26	África	0								
27		N. América	S. América	Europa	Asia	África				
28	*Demanda no satisfecha*	12	8	14	16	7				
29										
30	*Función objetivo*									
31	*Costo =*	$ -								

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
B28	=B9 - SUM(B14:B18)	5.1	C28:F28
B22	=G14*H4 + H14*J4 - SUM(B14:F14)	5.2	B23:B26
B31	=SUMPRODUCT(B14:F18,B4:F8) + SUMPRODUCT(G14:G18,G4:G8) + SUMPRODUCT(H14:H18,I4:I8)	Función objetivo	—

FIGURA 5-5 Área de una hoja de cálculo de las restricciones y función objetivo de SunOil.

se ubique una planta. En esta etapa deben evaluarse los costos asociados con una amplia variedad de opciones que incorporen combinaciones diferentes de asuntos estratégicos, por ejemplo presencia local.

A continuación consideramos un modelo que puede ser útil durante la fase III.

Fase III: Modelos de centro de gravedad para la ubicación

Durante la fase III (vea la figura 5-2), un gerente identifica las ubicaciones potenciales en cada región donde la compañía ha decidido establecer una planta. Como paso preliminar, el gerente debe identificar la ubicación geográfica donde se pueden considerar los sitios potenciales. Los modelos de centro de gravedad para la ubicación pueden ser útiles para identificar ubicaciones geográficas adecuadas en una región; también se utilizan para encontrar ubicaciones que minimicen el costo de transportar materias primas desde los proveedores y productos terminados hasta los mercados atendidos. A continuación, analizamos un escenario típico en el que se pueden utilizar modelos de centro de gravedad.

Consideremos, por ejemplo, Steel Appliances (SA), un fabricante de refrigeradores y estufas de alta calidad. SA cuenta con una planta de ensamble ubicada cerca de Denver, desde la cual ha abastecido a todo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	*Entradas— Costos, Capacidades, Demandas*									
2		*Región de la demanda* *Costo de producción y transporte por cada millón de unidades*					Costo	Baja	Costo	Alta
3	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	fijo ($)	capacidad	fijo ($)	capacidad
4	N. América	81	92	101	130	115	6,000	10	9,000	20
5	S. América	117	77	108	98	100	4,500	10	6,750	20
6	Europa	102	105	95	119	111	6,500	10	9,750	20
7	Asia	115	125	90	59	74	4,100	10	6,150	20
8	África	142	100	103	105	71	4,000	10	6,000	20
9	*Demanda*	12	8	14	16	7				
10										
11	*Variables de decisión*									
12		*Región de la demanda - Asignación de la producción (millón de unidades)*					Plantas	Plantas		
13	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	(1 = abiertas)	(1 = abiertas)		
14	N. América	0	0	0	0	0	0	0		
15	S. América	0	0	0	0	0	0	0		
16	Europa	0	0	0	0	0	0	0		
17	Asia	0	0	0	0	0	0	0		
18	África	0								
19										
20	*Restricciones*									
21	*Región de abasto*	*Capacidad Exced*								
22	N. América	0								
23	S. América	0								
24	Europa	0								
25	Asia	0								
26	África	0								
27		N. América	S. A							
28	*Demanda no satisfecha*	12								
29										
30	*Función objetivo*									
31	*Costo=*	$ -								
32										

Solver Parameters
Set Target Cell: $B$31
Equal To: Max Min Value of: 0
By Changing Cells:
$B$14:$H$18
Subject to the Constraints:
$B$14:$H$18 >= 0
$B$22:$B$26 >= 0
$B$28:$F$28 = 0
$G$14:$H$18 = binary
Solve
Close
Guess
Options
Add
Change
Delete
Reset All
Help

FIGURA 5-6 Uso de *Solver* para establecer la configuración regional para SunOil.

Estados Unidos. La demanda ha crecido con rapidez y el CEO de SA ha decidido montar otra fábrica para atender sus mercados de la costa este. Le pidió al gerente de la cadena de suministro que encontrara una ubicación adecuada para la nueva fábrica. Tres plantas de partes ubicadas en Buffalo, Memphis y San Luis proveerán partes a la nueva fábrica, la cual atenderá mercados en Atlanta, Boston, Jacksonville, Filadelfia y Nueva York. Las coordenadas de ubicación, la demanda en cada mercado, el suministro requerido de cada planta de partes y el costo de envío de cada fuente de abastecimiento o mercado se muestran en la tabla 5-1.

Los modelos de centro de gravedad suponen que tanto los mercados como las fuentes de suministro se pueden localizar como puntos en un plano. Todas las distancias se calculan como la distancia geométrica entre dos puntos en el plano. Estos modelos también suponen que los costos de transporte crecen linealmente con la cantidad enviada. Analizamos un modelo de centro de gravedad para localizar una planta que recibe materias primas de las fuentes de suministro y envía producto terminado a los mercados. Los datos básicos para el modelo son los siguientes:

x_n, y_n: coordenadas de localización de un mercado o fuente de suministro n

F_n: costo de envío de una unidad (una unidad podría ser una pieza, una tarima, un camión cargado, una tonelada) por milla entre la planta y el mercado o fuente de suministro n

D_n: cantidad que se enviará entre la planta y el mercado o fuente de suministro n

Si (x, y) es la ubicación seleccionada para la planta, la distancia d_n, entre la planta ubicada en (x, y) y la fuente de suministro o mercado n está dada por

$$d_n = \sqrt{(x - x_n)^2 \; 1 \; (y - x_n)^2} \qquad \textbf{(5.4)}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	*Entradas— Costos, Capacidades, Demandas*									
2		*Región de la demanda Costo de producción y transporte por cada millon de unidades*					Costo	Baja	Costo	Alta
3	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	fijo ($)	capacidad	fijo ($)	capacidad
4	N. América	81	92	101	130	115	6,000	10	9,000	20
5	S. América	117	77	108	98	100	4,500	10	6,750	20
6	Europa	102	105	95	119	111	6,500	10	9,750	20
7	Asia	115	125	90	59	74	4,100	10	6,150	20
8	África	142	100	103	105	71	4,000	10	6,000	20
9	*Demanda*	12	8	14	16	7				
10										
11	*Variables de decisión*									
12		*Región de la demanda - Asignación de la producción (millón de unidades)*					Plantas	Plantas		
13	*Región de abasto*	N. América	S. América	Europa	Asia	África	(1 = abiertas)	(1 = abiertas)		
14	N. América	0	0	0	0	0	0	0		
15	S. América	12	8	0	0	0	0	1		
16	Europa	0	0	0	0	0	0	0		
17	Asia	0	0	4	16	0	0	1		
18	África	0	0	10	0	7	0	1		
19										
20	*Restricciones*									
21	*Región de abasto*	*Capacidad excedente*								
22	N. América	0								
23	S. América	0								
24	Europa	0								
25	Asia	0								
26	África	3								
27		N. América	S. América	Europa	Asia	África				
28	*Demanda no satisfecha*	0	0	0	0	0				
29										
30	*Función objetivo*									
31	*Costo=*	$ 23,751								

FIGURA 5-7 Configuración de la red regional óptima de SunOil.

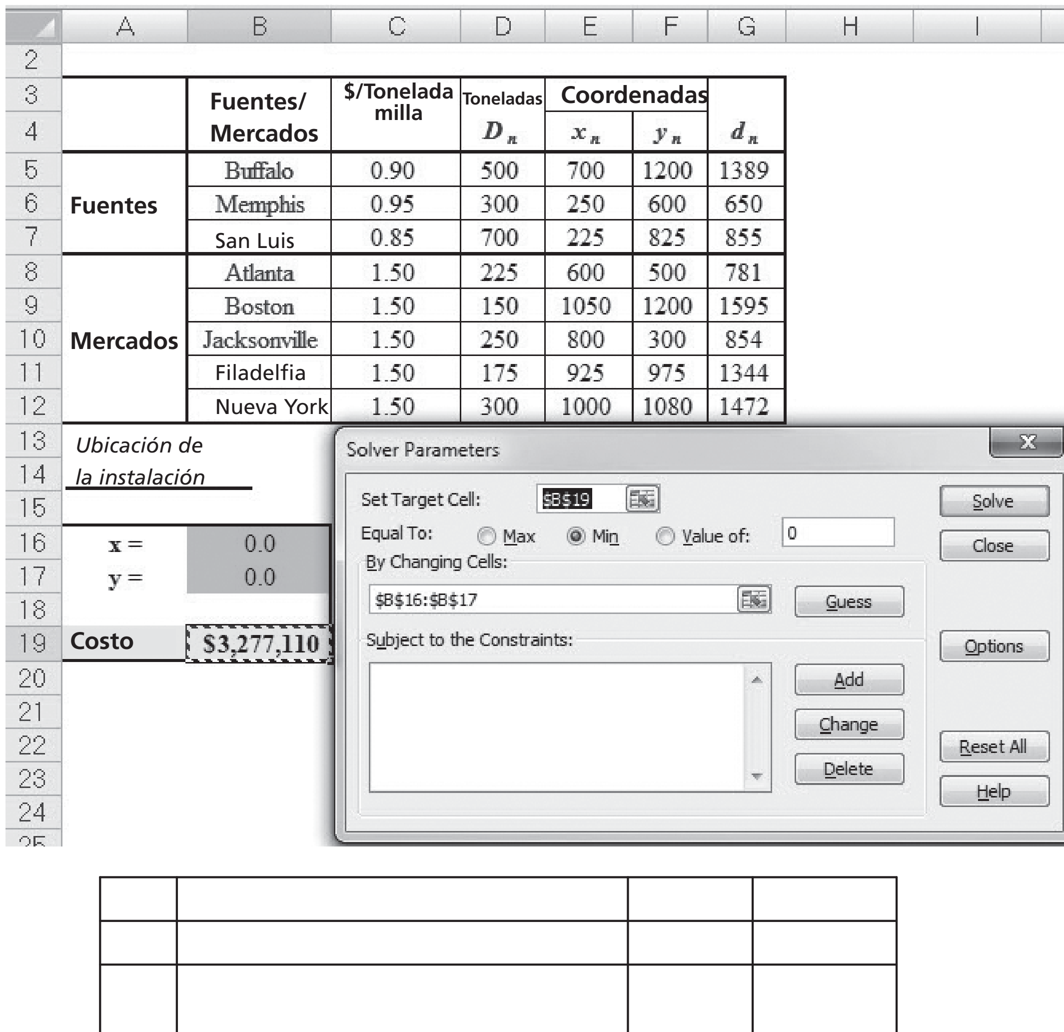
Tabla 5-1 Ubicaciones de las fuentes de suministro y mercados de Steel Appliances

Fuentes/mercados	Costo de transporte \$/tonelada milla (F_n)	Cantidad en toneladas (D_n)	Coordenadas x_n	Coordenadas y_n
Fuentes de suministro				
Buffalo	0.90	500	700	1,200
Memphis	0.95	300	250	600
San Luis	0.85	700	225	825
Mercados				
Atlanta	1.50	225	600	500
Boston	1.50	150	1,050	1,200
Jacksonville	1.50	250	800	300
Filadelfia	1.50	175	925	975
Nueva York	1.50	300	1,000	1,080

y el costo de transporte total (TC) está dado por

$$TC = \sum_{n=1}^{k} d_n D_n F_n \qquad \textbf{(5.5)}$$

La ubicación óptima es aquella que minimice el costo de transporte total en la ecuación 5.5. La solución óptima para Steel Appliances se obtiene con la herramienta Solver de Excel como se muestra en la



	Fuentes/ Mercados	$/Tonelada milla	Toneladas D_n	Coordenadas x_n	y_n	d_n
Fuentes	Buffalo	0.90	500	700	1200	1389
	Memphis	0.95	300	250	600	650
	San Luis	0.85	700	225	825	855
Mercados	Atlanta	1.50	225	600	500	781
	Boston	1.50	150	1050	1200	1595
	Jacksonville	1.50	250	800	300	854
	Filadelfia	1.50	175	925	975	1344
	Nueva York	1.50	300	1000	1080	1472

Ubicación de la instalación	
x =	0.0
y =	0.0
Costo	$3,277,110

FIGURA 5-8 Uso de Solver para optimizar la ubicación de Steel Appliances.

figura 5-8. El primer paso es introducir los datos del problema como se muestra en las celdas B5:F12. A continuación ponemos las variables de decisión (*x*, *y*) correspondientes a la ubicación de la nueva instalación en las celdas B16 y B17, respectivamente. En las celdas G5:G12, calculamos la distancia d_n de la instalación (*x*, *y*) a cada fuente o mercado con la ecuación 5.4. El costo de transporte total se calcula entonces en la celda B19 con la ecuación 5.5.

El siguiente paso es utilizar Data|Solver para invocar Solver. En el cuadro de diálogo Solver Parameters (vea la figura 5-8), se introduce la siguiente información para representar el problema:

Establecer celda: B19

Igual a: Seleccionar *Min*

Al cambiar las celdas de variables: B16:B17

Se hace clic en el botón Solve. La solución óptima aparece en las celdas B16 y B17.

De esta manera, el gerente identifica las coordenadas (*x*, *y*) = (681, 882) como la ubicación de la fábrica que minimiza el costo de transporte total. En un mapa se observa que estas coordenadas están cerca de la frontera de Carolina del Norte y Virginia. Es posible que las coordenadas precisas proporcionadas por el modelo de centro de gravedad no correspondan a una ubicación factible. El gerente debe buscar sitios deseables cercanos a las coordenadas óptimas que cuentan con la infraestructura requerida y también con la mano de obra calificada apropiada.

El modelo de centro de gravedad también puede resolverse utilizando el siguiente procedimiento iterativo.

1. Para cada fuente de suministro o mercado n, evaluamos d_n, como se define en la ecuación 5-4.
2. Obtenemos una nueva ubicación (x', y') para la instalación, donde

$$x' = \frac{\sum_{n=1}^{k} \frac{D_n F_n x_n}{d_n}}{\sum_{n=1}^{k} \frac{D_n F_n}{d_n}} \quad \text{y} \quad y' = \frac{\sum_{n=1}^{k} \frac{D_n F_n x_n}{d_n}}{\sum_{n=1}^{k} \frac{D_n F_n}{d_n}}$$

3. Si la nueva ubicación (x', y') es casi la misma que (x, y) nos detenemos. De lo contrario, hacemos $(x, y) = (x', y')$ y volvemos al paso 1.

Fase IV: Modelos de optimización de red

Durante la fase IV (vea la figura 5-2) un gerente decide la ubicación y asignación de la capacidad de cada instalación. Además de ubicar las instalaciones, también decide cómo se asignarán los mercados a las instalaciones. Esta asignación debe tener en cuenta las restricciones de servicio a clientes en función del tiempo de respuesta. La decisión en cuanto a asignación de la demanda puede modificarse con regularidad conforme los costos cambian y los mercados evolucionan. Cuando se diseña la red, las decisiones tanto de ubicación como de asignación se toman conjuntamente.

Ilustramos los modelos de optimización de red pertinentes con el ejemplo de dos fabricantes de equipo de telecomunicación de fibra óptica. Tanto TelecomOne como HighOptic fabrican equipo de telecomunicación de última generación. TelecomOne se ha enfocado en la mitad oriental de Estados Unidos y cuenta con plantas de manufactura en Baltimore, Memphis y Wichita, además de atender mercados en Atlanta, Boston y Chicago. HighOptic se ha dirigido a la mitad occidental de Estados Unidos y atiende mercados en Denver, Omaha y Portland, e inclusive cuenta con plantas en Cheyenne y Salt Lake City.

Las capacidades de cada planta, la demanda del mercado, el costo variable de producción y transporte por cada mil unidades enviadas, y los costos fijos mensuales en cada planta se muestran en la tabla 5-2.

ASIGNACIÓN DE LA DEMANDA A LAS INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN Con la tabla 5-2 calculamos que la capacidad de producción total y la demanda total mensuales de TelecomOne son de 71,000 y 32,000 unidades, respectivamente, mientras que la capacidad de producción y la demanda mensuales de HighOptic son de 51,000 y 24,000 unidades, respectivamente. Cada año, los gerentes de ambas compañías deben decidir cómo asignar la demanda a sus instalaciones de producción conforme la demanda y los costos cambian.

Tabla 5-2 Datos de capacidad, demanda y costos de TelecomOne y HighOptic

Ciudad de abastecimiento	Ciudad de demanda Costos de producción y transporte por cada millar de unidades (miles de dólares)						Capacidad mensual (miles de unidades) K	Costos fijos mensuales (miles de dólares) f
	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland		
Baltimore	1,675	400	685	1,630	1,160	2,800	18	7,650
Cheyenne	1,460	1,940	970	100	495	1,200	24	3,500
Salt Lake City	1,925	2,400	1,425	500	950	800	27	5,000
Memphis	380	1,355	543	1,045	665	2,321	22	4,100
Wichita	922	1,646	700	508	311	1,797	31	2,200
Demanda mensual (miles de unidades) D_j	10	8	14	6	7	11		

El problema de asignación de la demanda se resuelve con un modelo de asignación de la demanda. El modelo requiere los siguientes datos de entrada:

n = número de ubicaciones fabriles
m = número de mercados o puntos de demanda
D_j = demanda anual del mercado j
K_i = capacidad de la fábrica i
c_{ij} = costo de producir y enviar una unidad de la fábrica i al mercado j (los costos incluyen producción, inventario y transporte)

El objetivo es asignar la demanda de diferentes mercados a varias plantas para minimizar el costo total de instalaciones, transporte e inventario. Definimos las variables de decisión:

x_{ij} = cantidad enviada de la fábrica i al mercado j

El problema se formula como el siguiente programa lineal:

$$Min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = D_j \quad \text{con} \quad j=1, \ldots, m \tag{5.6}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq K_i y_i \quad \text{con} \quad i=1, \ldots, n \tag{5.7}$$

Las restricciones de la ecuación 5.6 aseguran que toda la demanda del mercado se satisface, y las de la ecuación 5.7 aseguran que ninguna fábrica produce más que su capacidad.

Tanto para TelecomOne como para HighOptic, el problema de asignación de la demanda se resuelve con la herramienta Solver de Excel. La asignación de la demanda óptima se presenta en la tabla 5-3. Observemos que es óptimo que TelecomOne no produzca en la instalación de Wichita aun cuando se encuentre en operación y se incurra en el costo fijo. Con la asignación de la demanda que se muestra en la tabla 5-3, TelecomOne incurre en un costo variable mensual de $14,886,000 y en un costo fijo mensual de $13,950,000 para un costo total mensual de $28,836,000. HighOptic incurre en un costo variable mensual de $12,865,000 y un costo fijo mensual de $8,500,000 para un costo mensual total de $21,365,000.

UBICACIÓN DE LAS PLANTAS: MODELO DE UBICACIÓN DE PLANTA CAPACITADA Los directores ejecutivos tanto de TelecomOne como de HighOptic han decidido fusionar las dos compañías para formar una sola que se llamará TelecomOptic. Los directores consideran que se obtendrán beneficios significativos si las dos redes se fusionan de manera apropiada pues así dispondrán de cinco fábricas para atender seis

Tabla 5-3 Asignación de la demanda óptima para TelecomOne y HighOptic

		Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland
TelecomOne	Baltimore	0	8	2			
	Memphis	10	0	12			
	Wichita	0	0	0			
HighOptic	Salt LakeCity				0	0	11
	Cheyenne				6	7	0

mercados, e inclusive está en debate si se requieren las cinco fábricas. Han asignado un equipo para que estudie la red para la compañía combinada e identifique las plantas que podrían cerrarse.

El problema de seleccionar la ubicación óptima y la asignación de la capacidad es muy similar al de la configuración regional que estudiamos en la fase II. La única diferencia es que en lugar de utilizar los costos y aranceles que aplican en una región, ahora empleamos los costos y aranceles específicos de una ubicación. Por tanto el equipo decide utilizar el modelo de ubicación de una planta capacitada ya antes analizado para resolver el problema en la fase IV.

Idealmente el problema debería formularse para maximizar las utilidades totales, tomando en cuenta costos, impuestos y aranceles por ubicación. Dado que los impuestos y aranceles no varían entre las ubicaciones, el equipo de la cadena de suministro decide ubicar las fábricas y luego asignar la demanda a las fábricas abiertas para minimizar el costo total de instalaciones, transporte e inventario. Definimos las siguientes variables de decisión:

y_i = 1 si la fábrica i está abierta, 0 si está cerrada

x_{ij} = cantidad enviada de la fábrica i al mercado j

Recordemos que el problema se formula entonces como el siguiente programa entero:

$$Min \sum_{i=1}^{n} f_i y_i \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij}$$

sujeto a que x y y satisfagan las restricciones de las ecuaciones 5.1, 5,2, y 5.3.

Los datos de capacidad y demanda junto con los costos de producción, transporte e inventario en las diferentes fábricas de la empresa fusionada TelecomOptic se dan en la tabla 5-2. El equipo de la cadena de suministro decide resolver el modelo de ubicación de una planta utilizando la herramienta Solver de Excel.

El primer paso para construir el modelo Solver es introducir la información de costo, demanda y capacidad como se muestra en la figura 5-9. Los costos fijos f_i de las cinco plantas se introducen en las celdas H4 a H8. Las capacidades K_i se introducen en las celdas I4 a I8. Los costos variables de cada planta a cada ciudad de demanda, c_{ij}, se introducen en las celdas B4 a G8. Las demandas D_j de los seis mercados se introducen en las celdas B9 a G9. Luego las variables de decisión x_{ij} y y_{ij}, correspondientes a las celdas B14 a G18 y H14 a H18, respectivamente, se asignan como se muestra en la figura 5-9. Inicialmente todas las variables se ponen en 0.

El siguiente paso es construir celdas para cada una de las restricciones de las ecuaciones 5.1 y 5.2. Estas celdas se muestran en la figura 5-10. Las celdas B22 a B26 contienen las restricciones de capacidad de la ecuación 5.7, en tanto que las celdas B29 a G29 contienen las restricciones de demanda de la ecua-

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	*Entradas— Costos, Capacidades, Demandas (para TelecomOptic)*								
2		*Ciudad de demanda Costo de producción y transporte por cada 1000 unidades*						Costo	
3	*Ciudad de abasto*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland	fijo ($)	Capacidad
4	Baltimore	1,675	400	685	1,630	1,160	2,800	7,650	18
5	Cheyenne	1,460	1,940	970	100	495	1,200	3,500	24
6	Salt Lake	1,925	2,400	1,425	500	950	800	5,000	27
7	Memphis	380	1,355	543	1,045	665	2,321	4,100	22
8	Wichita	922	1,646	700	508	311	1,797	2,200	31
9	*Demanda*	10	8	14	6	7	11		

	A	B	C	D	E	F	G	H
11	**Variables de decisión**							
12		*Ciudad de demanda –Asignación de la producción (1,000 unidades)*						Plantas
13	*Ciudad de abasto*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland	(1 = abierta)
14	Baltimore	0	0	0	0	0	0	0
15	Cheyenne	0	0	0	0	0	0	0
16	Salt Lake	0	0	0	0	0	0	0
17	Memphis	0	0	0	0	0	0	0
18	Wichita	0	0	0	0	0	0	0

FIGURA 5-9 Área de la hoja de cálculo para las variables de decisión de TelecomOptic.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	***Entradas—Costos, Capacidades, Demandas (para TelecomOptic)***								
2		*Ciudad de demanda Costo de producción y transporte por cada 1000 unidades*						Costo	
3	*Ciudad de abasto*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland	fijo ($)	Capacidad
4	Baltimore	1,675	400	685	1,630	1,160	2,800	7,650	18
5	Cheyenne	1,460	1,940	970	100	495	1,200	3,500	24
6	Salt Lake	1,925	2,400	1,425	500	950	800	5,000	27
7	Memphis	380	1,355	543	1,045	665	2,321	4,100	22
8	Wichita	922	1,646	700	508	311	1,797	2,200	31
9	*Demanda*	10	8	14	6	7	11		
11	***Variables de decisión***								
12		*Ciudad de demanda –Asignación de la producción (1000 unidades)*						**Plantas**	
13	*Ciudad de abasto*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland	(1=abierta)	
14	Baltimore	0	0	0	0	0	0	0	
15	Cheyenne	0	0	0	0	0	0	0	
16	Salt Lake	0	0	0	0	0	0	0	
17	Memphis	0	0	0	0	0	0	0	
18	Wichita	0	0	0	0	0	0	0	
20	***Restricciones***								
21	*Ciudad de abasto*	*Capacidad excedente*							
22	Baltimore	0							
23	Cheyenne	0							
24	Salt Lake	0							
25	Memphis	0							
26	Wichita	0							
28	*Demanda no*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland		
29	*satisfecha*	10	8	14	6	7	11		
31	***Función objetivo***								
32	***Costo*** *=*	$ -							

Celda	Fórmula	Ecuación	Copiada a
B22	= I4*H14 - SUM(B14:G14)	5.7	B23:B26
B29	= B9 - SUM(B14:B18)	5.6	C29:G29
B32	= SUMPRODUCT(B4:G8, B14:G18) + SUMPRODUCT(H4:H8, H14:H18)	Función objetivo	—

FIGURA 5-10 Área de la hoja de cálculo para las restricciones de TelecomOptic.

ción 5.6. La restricción de la celda B22 corresponde a la restricción de capacidad de la fábrica de Baltimore. La celda B29 corresponde a la restricción de demanda del mercado de Atlanta. Las restricciones de capacidad requieren que el valor de la celda sea mayor que o igual a (≥) 0, mientras que las de demanda requieren que el valor de la celda sea igual a 0.

La función objetivo mide el costo fijo total y el costo variable de la red de la cadena de suministro y se evalúa en la celda B32. El siguiente paso es utilizar Data|Solver para invocar Solver como se muestra en la figura 5-11.

En Solver, el objetivo es minimizar el costo total en la celda B32. Las variables están en las celdas B14:H18. Las restricciones son las siguientes:

B14:G18 ≥ 0 {Todas las variables de decisión son no negativas}

B22:B26 ≥ 0 $\left\{K_i y_i - \sum_{j=1}^{m} x_{ij} \geq 0 \text{ con } i = 1,\ldots, 5\right\}$

B29:G29 = 0 $\left\{D_j - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 0 \text{ con } j = 1,\ldots, 6\right\}$

G14:H18 *binarias* {Las variables de ubicación y_i son binarias; es decir, 0 o 1}

Entradas—Costos, Capacidades, Demandas (para TelecomOptic)

Ciudad de abasto	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland	Costo fijo ($)	Capacidad
	Ciudad de demanda Costo de producción y transporte por cada 1000 unidades							
Baltimore	1,675	400	685	1,630	1,160	2,800	7,650	18
Cheyenne	1,460	1,940	970	100	495	1,200	3,500	24
Salt Lake	1,925	2,400	1,425	500	950	800	5,000	27
Memphis	380	1,355	543	1,045	665	2,321	4,100	22
Wichita	922	1,646	700	508	311	1,797	2,200	31
Demanda	10	8	14	6	7	11		

Variables de decisión

Ciudad de abasto	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland	Plantas (1 = abierta)
	Ciudad de demanda –Asignación de la producción (1,000 unidades)						
Baltimore	0	0	0	0	0	0	0
Cheyenne	0	0	0	0	0	0	0
Salt Lake	0	0	0	0	0	0	0
Memphis	0	0	0	0	0	0	0
Wichita	0	0	0	0	0	0	0

Restricciones

Ciudad de abasto	Capacidad excedente
Baltimore	0
Cheyenne	0
Salt Lake	0
Memphis	0
Wichita	0

	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland
Demanda no satisfecha	10	8	14	6	7	11

Función objetivo

Costo =	$ -

Solver Parameters
Set Target Cell: $B$32
Equal To: Max Min Value of: 0
By Changing Cells:
$B$14:$H$18
Subject to the Constraints:
$B$14:$G$18 >= 0
$B$22:$B$26 >= 0
$B$29:$G$29 = 0
$H$14:$H$18 = binary
Solve
Close
Guess
Options
Add
Change
Delete
Reset All
Help

FIGURA 5-11 Cuadro de diálogo de *Solver* para TelecomOptic.

En el cuadro de diálogo *Solver Parameters*, hacemos clic en el botón *Solve* para obtener la solución óptima, como se muestra en la figura 5-12. Basado en esta figura, el equipo de la cadena de suministro concluye que lo óptimo para TelecomOptic es cerrar las plantas de Salt Lake City y Wichita, y mantener abiertas las de Baltimore, Cheyenne y Memphis. El costo mensual total de esta red y de operación es de $47,401,000. Esto costo representa ahorros de cerca de $3 millones mensuales comparados con la situación en que TelecomOne y HighOptic operan redes de cadena de suministro por separado.

UBICACIÓN DE PLANTAS: MODELO DE UBICACIÓN DE PLANTA CAPACITADA CON APROVISIONAMIENTO ÚNICO En algunos casos las compañías desean diseñar redes de cadena de suministro en las cuales una sola fábrica, llamada *fuente única,* abastece un mercado. Las compañías pueden imponer esta restricción porque reduce la complejidad de coordinar la red y requiere menos flexibilidad de cada instalación. El modelo de localización de una planta antes analizado requiere alguna modificación para que pueda incluir esta restricción. Las variables de decisión se redefinen como sigue:

y_i = 1 si la fábrica se encuentra en el sitio i; 0 si no es así
x_{ij} = 1 si al mercado j lo abastece la fábrica i; 0 en caso contrario

El problema se formula como el siguiente problema entero:

$$Min \sum_{i=1}^{n} f_i y_i + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} D_j c_{ij} x_{ij}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	***Entradas—Costos, Capacidades, Demandas (para TelecomOptic)***								
2		*Ciudad de demanda Costo de producción y transporte por cada 1,000 unidades*						Costo fijo ($)	Capacidad
3	*Ciudad de abasto*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland		
4	Baltimore	1,675	400	685	1,630	1,160	2,800	7,650	18
5	Cheyenne	1,460	1,940	970	100	495	1,200	3,500	24
6	Salt Lake	1,925	2,400	1,425	500	950	800	5,000	27
7	Memphis	380	1,355	543	1,045	665	2,321	4,100	22
8	Wichita	922	1,646	700	508	311	1,797	2,200	31
9	*Demanda*	10	8	14	6	7	11		
11	***Variables de decisión***								
12	*Ciudad de abasto*	*Ciudad de demanda –Asignación de la producción (1,000 unidades)*						Plantas (1 = abierta)	
13		Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland		
14	Baltimore	0	8	2	0	0	0	1	
15	Cheyenne	0	0	0	6	7	11	1	
16	Salt Lake	0	0	0	0	0	0	0	
17	Memphis	10	0	12	0	0	0	1	
18	Wichita	0	0	0	0	0	0	0	
20	***Restricciones***								
21	*Ciudad de abasto*	*Capacidad excedente*							
22	Baltimore	8							
23	Cheyenne	0							
24	Salt Lake	0							
25	Memphis	0							
26	Wichita	0							
28	*Demanda no satisfecha*	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland		
29		0	0	0	0	0	0		
31	***Función objetivo***								
32	***Costo =***	$ 47,401							

FIGURA 5-12 Diseño de una red óptima para TelecomOptic.

sujeto a

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \text{ con } j=1,..., m \tag{5.8}$$

$$\sum_{j=1}^{n} D_j x_i \leq K_i y_i \text{ con } i=1,..., n \tag{5.9}$$

$$x_{ij} y_i \in \{0,1\} \tag{5.10}$$

Las restricciones de las ecuaciones 5.8 y 5.10 obligan a que cada mercado sea abastecido por exactamente una fábrica.

No describimos la solución del modelo en Excel ya que es muy similar al modelo ya analizado. La red óptima con fuente de aprovisionamiento única para TelecomOptic es como se muestra en la tabla 5-4.

Si se requiere un aprovisionamiento único, lo óptimo para TelecomOptic es cerrar las fábricas de Baltimore y Cheyenne. Este resultado es diferente del de la figura 5-12, en el cual se cerraron las fábricas de Salt Lake City y Wichita. El costo mensual de operar la red que se muestra en la tabla 5-4 es de $49,717,000. Este costo es aproximadamente $2.3 millones más alto que el costo de la red de la figura 5.12, en la cual no se requería un aprovisionamiento único. Por tanto el equipo de la cadena de suministro concluye que el aprovisionamiento único agrega cerca de $2.3 millones por mes al costo de la red de la cadena de suministro, aunque facilita la coordinación y requiere menos flexibilidad de las plantas.

Tabla 5-4 Configuración de red óptima para TelecomOptic con aprovisionamiento único

	Abierta/Cerrada	Atlanta	Boston	Chicago	Denver	Omaha	Portland
Baltimore	Cerrada	0	0	0	0	0	0
Cheyenne	Cerrada	0	0	0	0	0	0
Salt LakeCity	Abierta	0	0	0	6	0	11
Memphis	Abierta	10	8	0	0	0	0
Wichita	Abierta	0	0	14	0	7	0

UBICACIÓN SIMULTÁNEA DE PLANTAS Y ALMACENES Si se va a diseñar toda la red de la cadena de suministro desde el proveedor hasta el cliente se tiene que considerar una forma mucho más general del modelo de ubicación de una planta. Consideramos una cadena de suministro en la cual los proveedores envían material a fábricas que abastecen a almacenes que a su vez abastecen a mercados, como se muestra en la figura 5-13. Las decisiones de ubicación y asignación de capacidad tienen que tomarse tanto para las fábricas como para los almacenes. Se pueden utilizar varios almacenes para satisfacer la demanda en un mercado, y varias fábricas para reabastecer los almacenes. También se supone que las unidades se han ajustado apropiadamente de modo que una unidad de insumo proveniente de una fuente de suministro produzca una unidad del producto terminado. El modelo requiere los siguientes datos de entrada:

m = número de mercados o puntos de demanda
n = número de ubicaciones potenciales para las fábricas
l = número de proveedores
t = número de ubicaciones potenciales para los almacenes
D_j = demanda anual del cliente j
K_i = capacidad potencial de la fábrica en el sitio i
S_h = capacidad de suministro del proveedor h
W_e = capacidad potencial del almacén en el sitio e
F_i = costo fijo de ubicar una planta en el sitio i
f_e = costo fijo de ubicar un almacén en el sitio e
c_{hi} = costo de enviar una unidad de la fuente de suministro h a la fábrica i
c_{ie} = costo de producir y enviar una unidad de la fábrica i al almacén e
c_{ej} = costo de enviar una unidad del almacén e al cliente j

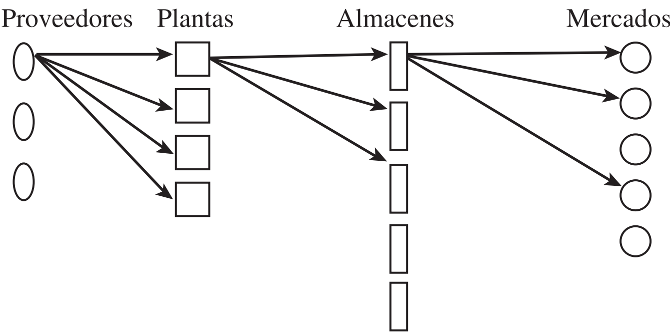


FIGURA 5-13 Etapas en una red de suministro.

El objetivo es identificar las ubicaciones de las plantas y almacenes así como las cantidades enviadas entre varios puntos que minimicen los costos fijos y variables totales. Definimos las siguientes variables de decisión:

y_i = 1 si la fábrica se ubica en el sitio *i*, 0 en caso contrario
y_e = 1 si el almacén se ubica en el sitio *e*, 0 en caso contrario
x_{ej} = cantidad enviada del almacén *e* al mercado *j*
x_{ie} = cantidad enviada desde la fábrica ubicada en el sitio *i* al almacén *e*
x_{hi} = cantidad enviada del proveedor *h* a la fábrica ubicada en el sitio *i*

El problema se formula como el siguiente programa entero:

$$Min \sum_{i=1}^{n} f_i y_i + \sum_{e=1}^{l} f_e y_e + \sum_{h=1}^{l}\sum_{i=1}^{n} c_{hi} x_{hi} + \varepsilon \sum_{i=1}^{n}\sum_{e=1}^{l} c_{ie} x_{ie} + \sum_{e=1}^{l}\sum_{j=1}^{m} c_{ej} x_{ej} \varepsilon\varepsilon$$

La función objetivo minimiza los costos fijos y variables totales de la red de la cadena de suministro sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{hi} \leq S_h \text{ con } h = 1, \ldots, 1 \qquad \textbf{(5.11)}$$

La restricción de la ecuación 5.11 especifica que la cantidad total enviada por un proveedor no debe exceder la capacidad de éste.

$$\sum_{h=1}^{l} x_{hl} + \sum_{e=1}^{t} x_{ie} \geq 0 \text{ con } i = 1, \ldots, n \qquad \textbf{(5.12)}$$

La restricción de la ecuación 5.12 establece que la cantidad enviada por una fábrica no puede exceder la cantidad de la materia prima recibida.

$$\sum_{e=1}^{t} x_{ie} \leq K_i y_i \text{ con } i = 1, \ldots, n \qquad \textbf{(5.13)}$$

La restricción de la ecuación 5.13 establece que la cantidad producida en la fábrica no puede exceder su capacidad.

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ie} - \sum_{j=1}^{m} x_{ej} \geq 0 \text{ con } e = 1, \ldots, t \qquad \textbf{(5.14)}$$

La restricción de la ecuación 5.14 especifica que la cantidad enviada por un almacén no puede exceder la cantidad recibida de las fábricas.

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ej} \leq W_e y_e \text{ con } e = 1, \ldots, t \qquad \textbf{(5.15)}$$

La restricción de la ecuación 5.15 especifica que la cantidad enviada por un almacén no puede exceder su capacidad.

$$\sum_{e=1}^{t} x_{ej} = Dj \text{ con } j = 1, \ldots, m \qquad \textbf{(5.16)}$$

La restricción de la ecuación 5.16 especifica que la cantidad enviada a un cliente debe satisfacer la demanda.

$$y_i, y_e \in \{0,1\}, x_{ej}, x_{ie}, x_{hi} \geq 0 \qquad \textbf{(5.17)}$$

La restricción de la ecuación 5.17 refuerza que cada fábrica o almacén estén abiertos o cerrados.

El modelo antes analizado puede modificarse para que permita envíos directos entre fábricas y mercados. Todos los modelos antes estudiados también pueden modificarse para acomodar las economías de escala en los costos de producción, transporte e inventario. Sin embargo, estos requerimientos hacen que los modelos sean más difíciles de resolver.

Consideración de los impuestos, aranceles y requerimientos del cliente

Los modelos de diseño de una red deben estructurarse de modo que la red de cadena de suministro resultante maximice las utilidades después de aranceles e impuestos, a la vez que satisface los requerimientos de servicio al cliente. Los modelos antes analizados son fáciles de modificar para maximizar las utilidades considerando los impuestos, incluso cuando los ingresos son en monedas diferentes. Si r_j es el ingreso que resulta de vender una unidad en el mercado *j*, la función objetivo del modelo de ubicación de una planta capacitada puede modificarse como sigue

$$Máx \sum_{j=1}^{m} r_j \sum_{i=1}^{n} x_{ij} - \sum_{i=1}^{n} F_i y_i - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij}$$

Esta función objetivo maximiza las utilidades de la empresa. Cuando utiliza una función objetivo que maximiza las utilidades, un gerente debe modificar la restricción de la ecuación 5.1 como sigue

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \leq Dj \text{ con } j=1, \ldots, m \qquad \textbf{(5.18)}$$

La restricción de la ecuación 5.18 es más apropiada que la de la 5.1 ya que permite al diseñador de la red identificar la demanda que puede satisfacerse rentablemente y aquella que se satisface con pérdidas para la empresa. El modelo de ubicación de la planta con la ecuación 5.18 en lugar de con la ecuación 5.1 y una función objetivo que maximice las utilidades, atenderá sólo esa parte de la demanda que es rentable atender. Esto puede dar por resultado algunos mercados en los que una parte de la demanda se deja sin atender, a menos que la restricción indique lo contrario, porque no puede atenderse de manera rentable.

Las preferencias y requerimientos del cliente pueden ser en términos del tiempo de respuesta deseado y la elección del modo o proveedor del transporte. Consideremos, por ejemplo, dos modos de transporte disponibles entre la planta *i* y el mercado *j*. El modo 1 puede ser marítimo y el 2 puede ser aéreo. El modelo de ubicación de una planta se modifica al definir dos variables de decisión distintas x_{ij}^1 y x_{ij}^2 que corresponden a la cantidad enviada de la ubicación *i* al mercado *j* utilizando los modos 1 y 2, respectivamente. El tiempo de respuesta deseado con cada modo de transporte se toma en cuenta al permitir envíos sólo cuando el tiempo requerido es menor que el tiempo de respuesta deseado. Por ejemplo, si el tiempo del sitio *i* al mercado *j* con el modo 1 (marítimo) es más largo que el que el cliente podría aceptar, simplemente eliminamos la variable de decisión x_{ij}^1 del modelo de ubicación de la planta. La opción entre varios proveedores de transporte se modela de manera similar.

5.5 TOMA DE DECISIONES DE DISEÑO DE LA RED EN LA PRÁCTICA

Los gerentes deben tener presentes las siguientes cuestiones cuando toman decisiones del diseño para una red de suministro.

No subestimar el tiempo de vida de las instalaciones. Es importante analizar detalladamente las consecuencias en el largo plazo de las decisiones relacionadas con las instalaciones ya que éstas duran mucho tiempo y tienen un impacto duradero en el desempeño de una empresa. Los gerentes deben considerar no sólo la demanda y costos futuros sino también escenarios en los que la tecnología puede cambiar. De lo contrario, las instalaciones pueden volverse inútiles en pocos años. Por ejemplo, una compañía de seguros trasladó a sus empleados de oficina de una ubicación metropolitana a una suburbana para reducir los costos. Con la creciente automatización la necesidad de empleados de oficina se redujo significativamente, y en pocos años la instalación ya no era necesaria. A la compañía le fue muy difícil vender la instalación por su distancia a las áreas residenciales y aeropuertos.[3] En la mayoría de las cadenas de suministro, las instalaciones de producción son más difíciles de cambiar que las de almacenamiento. Los diseñadores de una red de

cadena de suministro deben considerar que las fábricas que construyan en un lugar permanecerán allí durante un largo periodo de una década o más. Los almacenes o bodegas, en particular aquellos que no son propiedad de la compañía, pueden cambiarse dentro del año en que se tomó la decisión.

No restar importancia a las implicaciones culturales. Las decisiones de diseño de la red por lo que se refiere a la ubicación y rol de la instalación tienen un impacto significativo en la cultura de cada instalación y la empresa. La cultura en una instalación se verá influenciada por otras instalaciones cercanas a ella. Los diseñadores de una red pueden utilizar este hecho para influir en el rol de la nueva instalación y el enfoque de las personas que trabajan allí. Por ejemplo, cuando Ford Motor Company introdujo el modelo Lincoln Mark VIII, la administración enfrentó un dilema. En esa época el Mark VIII compartía una plataforma con el Mercury Cougar. Sin embargo, el Mark VIII era parte de la división Lincoln de automóviles de lujo de Ford. Ubicar la línea Mark VIII con el Cougar hubiera tenido ventajas operacionales obvias debido a las partes y procesos compartidos. Sin embargo, Ford decidió ubicar la línea Mark VIII en la planta de Wixom, Michigan, donde se producían otros automóviles Lincoln. La razón primordial de hacerlo así fue garantizar que el enfoque en la calidad del Mark VIII fuera consistente con la de otros automóviles de lujo de Ford que se fabricaban en Wixom.

La ubicación de una instalación tiene un impacto significativo en el grado y forma de comunicación que se desarrolla en la red de la cadena de suministro. Ubicar una instalación lejos de las oficinas centrales probablemente la hará sentirse más autónoma. Esto puede ser benéfico si la empresa está iniciando una nueva división que necesita funcionar de manera diferente de la del resto de la compañía. En contraste, la ubicación de dos instalaciones muy cerca una de la otra es probable que aliente la comunicación entre ellas. La extensa comunicación puede ser útil si las decisiones tomadas en cualquiera de las dos instalaciones tienen un fuerte impacto en el desempeño de la otra instalación.

No pasar por alto los aspectos de calidad de vida. La calidad de vida en las ubicaciones seleccionadas para una instalación tiene un impacto significativo en el desempeño porque influye en la fuerza laboral disponible y en su moral. En muchos casos puede ser mejor que una empresa seleccione una ubicación de alto costo si ello conlleva una mejor calidad de vida. El no hacerlo puede tener graves consecuencias. Por ejemplo, un proveedor aeroespacial decidió reubicar toda una división a un área con un menor estándar de vida para reducir costos. La mayor parte del equipo de marketing, sin embargo, se rehusó a trasladarse. Como resultado, las relaciones con los clientes se deterioraron, y la compañía experimentó una transición muy difícil. El esfuerzo por ahorrar costos dañó a la compañía y de hecho redujo su posición como un actor importante en su mercado.[4]

Enfocarse en los aranceles e incentivos fiscales cuando se ubican las instalaciones. Los gerentes que deciden la ubicación de una instalación deben considerar los aranceles e incentivos fiscales con sumo cuidado. Cuando se consideran ubicaciones internacionales es sorprendente cuán a menudo los incentivos fiscales motivan la elección de una ubicación, superando con frecuencia todos los demás factores de costo combinados. Por ejemplo, Irlanda ha desarrollado una gran industria de alta tecnología al persuadir a las compañías con impuestos bajos. Incluso dentro de las naciones, los gobiernos locales pueden ofrecer generosos paquetes de bajos impuestos o exenciones y terrenos sin costo cuando las compañías deciden ubicar instalaciones en su jurisdicción. Toyota, BMW y Mercedes decidieron ubicarse en Estados Unidos debido en gran parte a los incentivos fiscales ofrecidos por los diferentes estados.

5.6 RESUMEN

1. *Entender el rol del diseño de la red en una cadena de suministro.* Las decisiones de diseño de la red incluyen identificar los roles de la instalación, las ubicaciones, capacidades y la asignación de los mercados que las diferentes instalaciones deben atender. Estas decisiones definen las restricciones físicas dentro de las cuales la red debe ser operada conforme cambian las condiciones del mercado. Las buenas decisiones de diseño de la red incrementan las utilidades de la cadena de suministro.

2. *Identificar los factores que influyen en las decisiones de diseño de una red de la cadena de suministro.* En general, las decisiones de diseño de la red se ven influidas por factores estratégicos, tecnológicos, macroeconómicos, políticos, de infraestructura, competitivos, y de operación.

---

[3] Charles F. Harding. (Mayo-junio 1988). "Quantifying Abstract Factors in Facility-Location Decisions". *Industrial Development,* p. 24.
[4] Idem.

3. ***Desarrollar un marco para tomar decisiones sobre el diseño de una red.*** El objetivo del diseño de una red es maximizar la rentabilidad de la cadena de suministro en el largo plazo. El proceso se inicia con la definición de la estrategia de la cadena de suministro, la cual debe alinearse con la estrategia competitiva de la compañía. La estrategia de la cadena de suministro, la demanda regional, los costos, la infraestructura y el ambiente competitivo, se emplean para definir una configuración regional de las instalaciones. En regiones donde han de ubicarse las instalaciones se seleccionan luego los sitios potencialmente atractivos con base en la infraestructura disponible. La configuración óptima se determina a partir de los sitios potenciales utilizando la demanda, el costo de logística, los costos de factores, los impuestos y los márgenes en diferentes mercados.

4. ***Utilizar la optimización para decidir la ubicación de una instalación y la asignación de capacidad.*** Los modelos de centro de gravedad para la ubicación identifican una ubicación que minimiza los costos de transporte de entrada y salida. Son simples de implementar pero no tienen en cuenta otros costos importantes. Los modelos de optimización de redes pueden incluir márgenes de contribución, impuestos, aranceles, costos de producción, transporte e inventario, y se utilizan para maximizar la rentabilidad. Estos modelos son útiles cuando se ubican instalaciones y se les asignan capacidad y mercados.

Preguntas para debate

1. ¿Cómo afectan la ubicación y el tamaño de los almacenes el desempeño de una compañía como Amazon? ¿Qué factores debe tomar en cuenta Amazon al decidir dónde y cuán grandes deben ser sus almacenes?
2. ¿Cómo afectan los derechos de importación y los tipos de cambio la decisión de ubicación en una cadena de suministro?
3. ¿Cómo es probable que la elevación de los costos de transporte afecte las redes de cadena de suministro globales?
4. A medida que ha ido creciendo, Amazon ha construido nuevos almacenes. ¿Cómo afecta este cambio a los diversos costos y tiempo de respuesta en su cadena de suministro?
5. McMaster-Carr vende equipo de mantenimiento, reparación y operaciones desde cinco almacenes en Estados Unidos; W. W. Grainger vende productos en más de 350 tiendas minoristas, apoyadas por varios almacenes. En ambos casos los clientes colocan pedidos por medio de la Web o por teléfono. Analice los pros y contras de las dos estrategias.
6. Considere una empresa como Dell, que tiene pocas instalaciones de producción en el mundo. Mencione las ventajas y desventajas de este método y por qué puede o no ser adecuado para la industria de la computación.
7. Considere una compañía como Ford, que cuenta con más de 150 plantas en el mundo. Enumere las ventajas y desventajas de tener muchas plantas y por qué esta estrategia puede ser o no adecuada para la industria automotriz.

Ejercicios

1. SC Consulting, una compañía consultora de cadenas de suministro debe decidir dónde ubicar sus oficinas centrales. Sus clientes se encuentran principalmente en los 16 estados enumerados en la tabla 5-5. Existen cuatro sitios potenciales para las oficinas centrales: Los Angeles, Tulsa, Denver y Seattle. El costo fijo anual de ubicar una oficina en Los Angeles es de $165,428; en Tulsa es de $131,230, y en Seattle es de $145,000. El número esperado de viajes a cada estado y los costos de viaje desde cada sitio potencial se muestran en la tabla 5-5.

   Se espera que cada consultor haga a lo sumo 25 viajes al año.

   a. Si no hay restricciones en cuanto al número de consultores en un sitio y el objetivo es minimizar costos, ¿dónde deben ubicarse las oficinas centrales y cuántos consultores deben asignarse a cada oficina? ¿Cuál es el costo anual en términos de la instalación y el viaje?
   b. Si, como máximo, se asignan 10 consultores a una oficina central, ¿dónde deberán establecerse las oficinas? ¿Cuántos consultores deben asignarse a cada oficina? ¿Cuál es el costo anual de esta red?
   c. ¿Qué piensa de una política según la cual todos los proyectos de consultoría originados en un estado en particular se asignen a una oficina central? ¿Cuánto podría esta política agregar al costo en comparación con la de permitir que múltiples oficinas manejen un solo estado?
2. DryIce, Inc., es un fabricante de acondicionadores de aire cuya demanda ha crecido significativamente. La compañía anticipa que la demanda a nivel nacional en el siguiente año sea de 180,000 unidades en el sur; 120,000 en el oeste medio; 110,000 en el este, y 100,000 unidades en el oeste. Los gerentes de DryIce están diseñando la red de manufactura y han seleccionado cuatro sitios potenciales: Nueva York, Atlanta, Chicago y San Diego. La capacidad de las plantas podría ser de 200,000 o de 400,000 unidades. Los costos fijos anuales en las cuatro ubicaciones se muestran en la tabla 5-6, junto con el costo de producir y enviar un acondicionador de aire a cada uno de los cuatro mercados. ¿Dónde deberá DryIce construir sus fábricas y qué tan grandes deben ser?
3. Sunchen, fabricante de tintas de impresión, cuenta con cinco plantas de fabricación en todo el mundo. Sus ubicaciones y capacidades se muestran en la tabla 5-7, junto con el costo

Tabla 5-5 Costos de viaje y número de viajes para SC Consulting

	Costos de viaje ($)				
Estado	Los Angeles	Tulsa	Denver	Seattle	Número de viajes
Washington	150	250	200	25	40
Oregon	150	250	200	75	35
California	75	200	150	125	100
Idaho	150	200	125	125	25
Nevada	100	200	125	150	40
Montana	175	175	125	125	25
Wyoming	150	175	100	150	50
Utah	150	150	100	200	30
Arizona	75	200	100	250	50
Colorado	150	125	25	250	65
Nuevo México	125	125	75	300	40
Dakota del Norte	300	200	150	200	30
Dakota del Sur	300	175	125	200	20
Nebraska	250	100	125	250	30
Kansas	250	75	75	300	40
Oklahoma	250	25	125	300	55

Tabla 5-6 Costos de producción y transporte de DryIce, Inc.

	Nueva York	Atlanta	Chicago	San Diego
Costo fijo anual de la planta de 200,000	$6 millones	$5.5 millones	$5.6 millones	$6.1 millones
Costo fijo anual de la planta de 400,000	$10 millones	$9.2 millones	$9.3 millones	$10.2 millones
Este	$211	$232	$238	$299
Sur	$232	$212	$230	$280
Oeste Medio	$240	$230	$215	$270
Oeste	$300	$280	$270	$225

Tabla 5-7 Demanda, capacidad, y costos de producción y transporte de Sunchem

	Norteamérica	Europa	Japón	Sudamérica	Asia	Capacidad Tons/año	Producción Costo/Ton
Estados Unidos	$600	$1,300	$2,000	$1,200	$1,700	185	$10,000
Alemania	$1,300	$600	$1,400	$1,400	$1,300	475	15,000 euros
Japón	$2,000	$1,400	$300	$2,100	$900	50	1,800,000 yenes
Brasil	$1,200	$1,400	$2,100	$800	$2,100	200	13,000 reales
India	$2,200	$1,300	$1,000	$2,300	$800	80	400,000 rupias
Demanda (tons/año)	270	200	120	190	100		

Tabla 5-8 Tipos de cambios anticipados para el siguiente año

	US$	Euro	Yen	Real	Rupia
US$	1.000	1.993	107.7	1.78	43.55
Euro	0.502	1	54.07	0.89	21.83
Yen	0.0093	0.0185	1	0.016	0.405
Real	0.562	1.124	60.65	1	24.52
Rupia	0.023	0.046	2.47	0.041	1

de producir 1 tonelada de tinta en cada instalación. Los costos de producción están en la moneda local del país donde se ubica la planta. Los mercados principales para las tintas son Norteamérica, Sudamérica, Europa, Japón y el resto de Asia. La demanda en cada mercado se muestra en la tabla 5-7. Los costos de transporte de cada planta a cada mercado en dólares estadounidenses se muestran en la tabla 5-7. La administración debe elaborar un plan de producción para el siguiente año.

a. Si se esperan tipos de cambio como los que se muestran en la tabla 5-8, y ninguna planta puede funcionar por debajo de 50% de su capacidad, ¿cuánto deberá producir cada planta y qué mercados debe abastecer cada una?
b. Si no hay límites sobre la cantidad producida en una planta, ¿qué tanto deberá producir cada una?
c. ¿Puede reducir los costos el que se agreguen 10 toneladas de capacidad en cada planta?
d. ¿Cómo debe Sunchem tomar en cuenta el hecho de que los tipos de cambio fluctúan con el tiempo?

4. Sleekfon y Sturdyfon son dos importantes fabricantes de teléfonos celulares que se fusionaron recientemente. Los tamaños de sus mercados actuales se muestran en la tabla 5-9. Toda la demanda está en millones de unidades.

Sleekfon tiene tres plantas de producción en Europa (UE), Norteamérica y Sudamérica. Sturdyfon también tiene tres plantas de producción en Europa (UE), Norteamérica y el resto de Asia/Australia. La capacidad (en millones de unidades), el costo fijo anual (en millones de $) y los costos de producción variables ($ por unidad) de cada planta se muestran en la tabla 5-10.

Los costos de transporte entre regiones se muestran en la tabla 5-11. Todos los costos de transporte se muestran en dólares por unidad.

Los derechos se aplican sobre cada unidad con base en el costo fijo por capacidad unitaria, costo variable por unidad y costo de transporte. Por tanto, una unidad enviada en la actualidad de Norteamérica a África tiene un costo fijo por unidad de capacidad de $5.00, un costo variable de producción de $5.50, y un costo de transporte de $2.20. El derecho de importación de 25% se aplica por tanto sobre $12.70 (5.00 + 5.50 + 2.20) para dar un costo total de importación de $15.88. Para las preguntas siguientes, suponga que la demanda del mercado es como se muestra en tabla 5-9.

La compañía fusionada ha estimado que la reducción de la planta de 20 millones de unidades a 10 millones de unidades permite ahorrar 30% en costos fijos. Los costos variables en una planta reducida no cambian. El cierre de una planta (de 10 millones o de 20 millones de unidades) permite ahorrar 80% en costos fijos. Los costos fijos se recuperan sólo en parte debido a indemnizaciones por despido y a otros costos asociados con un cierre.

a. ¿Cuál es el menor costo alcanzable para la red de producción y distribución antes de la fusión? ¿Qué plantas atienden qué mercados?

Tabla 5-9 Demanda global y derechos de importación de Sleekfon y Sturdyfon

Mercado	N. América	S. América	Europa (UE)	Europa (No UE)	Japón	Resto de Asia/Australia	África
Demanda de Sleekfon	10	4	20	3	2	2	1
Demanda de Sturdyfon	12	1	4	8	7	3	1
Derechos de importación (%)	3	20	4	15	4	22	25

Tabla 5-10 Capacidades y costos de las plantas de Sleekfon y Sturdyfon

		Capacidad	Costo fijo/año	Costo variable/unidad
Sleekfon	Europa (UE)	20	100	6.0
	N. América	20	100	5.5
	S. América	10	60	5.3
Sturdyfon	Europa (UE)	20	100	6.0
	N. América	20	100	5.5
	Resto de Asia	10	50	5.0

Tabla 5-11 Costos de transporte entre regiones (dólares por unidad)

	N. América	S. América	Europa (UE)	Europa (no UE)	Japón	Resto de Asia/ Australia	África
N. América	1.00	1.50	1.50	1.80	1.70	2.00	2.20
S. América	1.50	1.00	1.70	2.00	1.90	2.20	2.20
Europa (UE)	1.50	1.70	1.00	1.20	1.80	1.70	1.40
Europa (No UE)	1.80	2.00	1.20	1.00	1.80	1.60	1.50
Japón	1.70	1.90	1.80	1.80	1.00	1.20	1.90
Resto de Asia/Australia	2.00	2.20	1.70	1.60	1.20	1.00	1.80
África	2.20	2.20	1.40	1.50	1.90	1.80	1.00

b. ¿Cuál es el menor costo alcanzable para la red de producción y distribución después de la fusión si ninguna de las plantas se cierra? ¿Qué plantas atienden qué mercados?
c. ¿Cuál es el menor costo alcanzable para la red de producción y distribución después de la fusión si las plantas se pueden recortar o cerrar en lotes de 10 millones de unidades de capacidad? ¿Qué plantas atienden qué mercados?
d. ¿Cómo se ve afectada la configuración óptima de la red si todos los derechos se reducen a 0?
e. ¿Cómo debe configurarse la red fusionada?

5. Regrese a los datos de Sleekfon y Sturdyfon del ejercicio 4. La administración ha estimado que es probable que la demanda de los mercados globales crezca. Norteamérica, Japón y Europa (UE) están relativamente saturados y no se espera que crezcan. Los mercados de Sudamérica, África y Europa (No UE) esperan un crecimiento de 20%. El resto de Asia/Australia anticipa un crecimiento de 200%.
a. ¿Cómo debe configurar la red fusionada su red para acomodar el crecimiento anticipado? ¿Cuál es el costo anual de operar la red?
b. Hay una opción de agregar capacidad en la planta del resto de Asia/Australia. La adición de 10 millones de unidades de capacidad incurre en un costo fijo adicional de 40 millones de dólares al año; agregar 20 millones de unidades de capacidad incurre en un costo fijo adicional de $70 millones al año. Si los costos de cierre y derechos son como los del ejercicio 4, ¿cómo debe configurar la compañía fusionada su red para acomodar el crecimiento anticipado? ¿Cuál es el costo anual de operar la nueva red?
c. Si todos los derechos se reducen a cero, ¿cómo cambia su respuesta al ejercicio 5(b)?
d. ¿Cómo debe configurarse la red fusionada dada la opción de agregar capacidad a la planta del resto de Asia/Australia?

6. StayFresh, un fabricante de refrigeradores en la India, tiene dos plantas, una en Mumbai y la otra en Chennai. La capacidad de cada planta es de 300,000 unidades. Las dos plantas atienden todo el país, el cual está dividido en cuatro mercados regionales: el del norte, con una demanda de 100,000 unidades; el del oeste, con una demanda de 150,000 unidades; el del sur con una demanda de 150,000 unidades, y el del este, con una demanda de 50,000 unidades. Otros dos sitios potenciales para construir plantas incluyen Delhi y Kolkata. Los costos variables de producción y transporte (en miles de rupias; 1 dólar estadounidense vale cerca de 45 rupias) por refrigerador proveniente de cada sitio potencial de producción a cada mercado se muestran en la tabla 5-12.

Tabla 5-12 Costo de producción y transporte (miles de rupias) por refrigerador

	Norte	Este	Oeste	Sur
Chennai	20	19	17	15
Delhi	15	18	17	20
Kolkata	18	15	20	19
Mumbai	17	20	15	17

StayFresh prevé un crecimiento compuesto de la demanda de 20% anual durante los siguientes cinco años y debe planear sus decisiones de inversión en la red. Se espera que la demanda se estabilice después de cinco años de crecimiento. La capacidad se puede agregar en incrementos de 150,000 o 300,000 unidades. La adición de 150,000 unidades de capacidad incurre en un costo único de 2 mil millones de rupias, mientras que la adición de 300,000 unidades de capacidad incurre en un costo único de 3,400 millones de rupias. Suponga que StayFresh planea satisfacer toda la demanda (los precios son suficientemente altos) y que la capacidad para cada año debe estar lista a principios del año. Suponga también que el costo para el quinto año continuará durante los siguientes 10 años, es decir, del 6° al 15°. El problema ahora se puede resolver para diferentes factores de descuento. Para empezar, suponga un factor de descuento de 0.2, es decir, una rupia gastada el siguiente año vale 1 – 0.2 = 0.8 rupias este año.
a. ¿Cómo debe evolucionar la red de producción de la compañía durante los siguientes cinco años?
b. ¿Cómo cambia su respuesta si el crecimiento anticipado es de 15%? ¿Si es de 25%?
c. ¿Cómo cambia su decisión con un factor de descuento de 0.25? ¿De 0.15?

d. ¿Qué estrategia de inversión recomienda para la compañía?

7. Blue Computers, un importante fabricante de computadoras en Estados Unidos, tiene plantas actualmente en Kentucky y Pennsylvania. La planta de Kentucky tiene una capacidad de 1 millón de unidades al año y la de Pennsylvania es de 1.5 millones. La empresa divide Estados Unidos en cinco mercados: del noreste, del sureste, del oeste medio, del sur y del oeste. Cada computadora personal se vende en $1,000. La compañía espera un crecimiento de 50% en la demanda (en cada región) este año (después del cual la demanda se estabilizará) y desea construir una planta con una capacidad de 1.5 millones de unidades al año para adaptarse al crecimiento. Los sitios potenciales a considerar están en Carolina del Norte y California. En la actualidad, la compañía paga impuestos federales, estatales y locales sobre el ingreso de cada planta. Los impuestos federales son 20% del ingreso, y todos los impuestos estatales y locales son 7% del ingreso en cada estado. Carolina del Norte ha ofrecido reducir los impuestos durante los siguientes 10 años de 7 a 2%. A Blue Computers le gustaría considerar la reducción fiscal al planear su red. Considere el ingreso de los 10 años siguientes en su análisis. Suponga que todos los costos permanecen constantes durante los siguientes 10 años. Use un factor de descuento de 0.1 en su análisis. Los costos anuales fijos, los costos de producción y envío por unidad y la demanda regional actual (antes de 50% de crecimiento) se muestran en la tabla 5-13.

a. Si Blue Computers establece el objetivo de minimizar los costos fijos y variables totales, ¿dónde debe construir la nueva planta? ¿Cómo debe estructurarse la red?

b. Si Blue Computers establece el objetivo de maximizar las utilidades después de impuestos, ¿dónde debe construir la nueva planta? ¿Cómo debe estructurarse la red?

8. Hot&Cold y CaldoFreddo son dos fabricantes europeos de aparatos electrodomésticos que se fusionaron. Hot&Cold tiene plantas en Francia, Alemania y Finlandia, en tanto que CaldoFreddo tiene plantas en el Reino Unido e Italia. El mercado europeo está dividido en cuatro regiones: Norte, Este, Oeste y Sur. Las capacidades de las plantas (millones de unidades por año), los costos fijos anuales (millones de euros por año), la demanda regional (millones de unidades) y los costos variables de producción y envío (euros por unidad) se muestran en la tabla 5-14.

Cada aparato se vende a un precio promedio de 300 euros. Actualmente a todas las plantas se les trata como centros generadores de utilidades, y la compañía paga los impuestos de cada planta por separado . Las tasas impositivas en los diversos países son las siguientes: Francia, 0.25; Alemania, 0.25; Finlandia, 0.3: Reino Unido, 0.2; Italia, 0.35.

Tabla 5-13 Costos variables de producción y envío de Blue Computers

	Costos variables de producción y envío ($/unidad)					
	Noreste	**Sureste**	**Oeste medio**	**Sur**	**Oeste**	**Costo fijo anual (MDD)**
Kentucky	185	180	175	175	200	150
Pensilvania	170	190	180	200	220	200
Carolina del Norte	180	180	185	185	215	150
California	220	220	195	195	175	150
Demanda (miles de unidades/mes)	700	400	400	300	600	

Tabla 5-14 Capacidad, costo y demanda de Hot & Cold y CaldoFreddo

		Costos variables de producción y envío					
		Norte	**Este**	**Sur**	**Oeste**	**Capacidad**	**Costo fijo anual**
Hot&Cold	Francia	100	110	105	100	50	1,000
	Alemania	95	105	110	105	50	1,000
	Finlandia	90	100	115	110	40	850
Demanda		30	20	20	35		
CaldoFreddo	Reino Unido	105	120	110	90	50	1,000
	Italia	110	105	90	115	60	1,150
Demanda		15	20	30	20		

a. Antes de la fusión, ¿cuál es la red óptima para cada una de las dos empresas si su objetivo es minimizar los costos? ¿Cuál es la red óptima si el objetivo es maximizar las utilidades después de impuestos?
b. Después de la fusión, ¿cuál es la configuración de costo mínimo si ninguna de las plantas se cierra? ¿Cuál es la configuración que maximiza las utilidades después de impuestos si ninguna de las plantas se cierra?
c. Después de la fusión, ¿cuál es la configuración de costo mínimo, si las plantas pueden cerrarse (suponga que el cierre ahorra 100% del costo fijo anual de la planta)? ¿Cuál es la configuración que maximiza las utilidades después de impuestos?

Bibliografía

Anderson, Kenneth E., Daniel P. Murphy y James M. Reeve. (Noviembre—diciembre 2002). Smart Tax Planning for Supply Chain Facilities. *Supply Chain Management Review,* pp. 46-52.

Ballou, Ronald H. (1999). *Business Logistics Management.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Bovet, David. (Julio-agosto 2010). Good Time to Rethink European Distribution. *Supply Chain Management Review.*

Daskin, Mark S. (1995). *Network and Discrete Location.* Nueva York: Wiley.

Drezner, Z. y H. Hamacher. (2004). *Facility Location: Applications and Theory.* Berlin: Springer Verlag.

Ferdows, Kasra. (Marzo-abril 1997). Making the Most of Foreign Factories. *Harvard Business Review,* pp. 73-88.

Harding, Charles F. (Mayo-junio 1988). Quantifying Abstract Factors in Facility-Location Decisions. *Industrial Development*, p. 24.

Korpela, Jukka, Antti Lehmusvaara y Markku Tuominen. Customer Service Based Design of the Supply Chain. (2001). *International Journal of Production Economics* 69, pp. 193-204.

MacCormack, Alan D., Lawrence J. Newman III y Donald B. Rosenfield. (Verano de 1994). The New Dynamics of Global Manufacturing Site Location. *Sloan Management Review,* pp. 69-79.

Mentzer, Joseph. (Mayo-junio 2008). Seven Keys to Facility Location. *Supply Chain Management Review,* pp. 25-31.

Murphy, Sean. (Septiembre 2008). Will Sourcing Come Closer to Home? *Supply Chain Management Review,* pp. 33-37.

Note on Facility Location. (1989). Harvard Business School. Nota 9-689-059.

Robeson, James F., y William C. Copacino, eds. (1994). *The Logistics Handbook.* Nueva York: Free Press.

Tayur, Sridhar, Ram Ganeshan y Michael Magazine, eds. (1999). *Quantitative Models for Supply Chain Management.* Boston: Kluwer Academic Publishers.

Tirole, Jean. (1997). *The Theory of Industrial Organization.* Cambridge, MA: The MIT Press.

ESTUDIO DE CASO

Crecimiento administrativo en SportStuff.com

En diciembre de 2008 Sanjay Gupta y su equipo administrativo estaban ocupados evaluando el desempeño del año anterior de SportStuff.com. La demanda había crecido 80%. Sin embargo, este crecimiento fue una bendición combinada. Los accionistas de la compañía estaban muy complacidos con el crecimiento de las ventas y el incremento resultante de los ingresos. Pero Sanjay y su equipo entendían claramente que los costos se incrementarían más rápido que los ingresos si la demanda continuaba creciendo y no se rediseñaba la red de la cadena de suministro. Decidieron analizar el desempeño de la red actual para ver cómo podrían rediseñarla y así enfrentar mejor el rápido crecimiento anticipado durante los siguientes tres años.

SporStuff.com

Sanjay Gupta fundó SportStuff.com en 2004 con la misión de ofrecer a los padres equipo deportivo más asequible para sus hijos. Los padres se quejaban de que tenían que desechar patines, esquís, chaquetas y zapatos caros, debido a que ya no les quedaban a sus hijos porque crecían rápidamente. El plan inicial de Sanjay fue que la compañía comprara equipo y chalecos usados a las familias, así como cualquier equipo excedente de los fabricantes y minoristas y venderlos por Internet. La idea fue muy bien recibida en el mercado, la demanda creció con rapidez y para finales de 2004 la compañía tenía ventas de $0.8 millones. En ese momento, la compañía vendía una

(Continúa)

(Continuación)

Tabla 5-15 Demanda regional en SportStuff.como en 2007

Zona	Demanda en 2007	Zona	Demanda en 2007
Noroeste	320,000	Oeste medio inferior	220,000
Suroeste	200,000	Noreste	350,000
Oeste medio superior	160,000	Sureste	175,000

amplia variedad de productos nuevos y usados y recibía un significativo apoyo de capital de riesgo.

En junio de 2004, Sanjay arrendó parte de un almacén en las afueras de San Luis para manejar la gran cantidad de producto que se estaba vendiendo. Los proveedores enviaban su producto al almacén. Los pedidos de los clientes se empacaban y enviaban desde allí por UPS. Al crecer la demanda, SportStuff.como arrendó más espacio dentro del almacén. Para 2007, SportStuff.com arrendó todo el almacén y se enviaban pedidos a clientes por todo Estados Unidos. La administración dividió a Estados Unidos en seis zonas para efectos de planeación. La demanda de cada zona en 2007 se muestra en la tabla 5-15. Sanjay estimó que en los tres años siguientes la tasa de crecimiento sería cercana a 80% anual, después de lo cual se nivelaría.

Opciones de la red

Sanjay y su equipo administrativo comprendían que necesitaban más espacio de almacenamiento para enfrentar el crecimiento previsto. Una opción era arrendar más espacio en la misma ciudad de San Luis. Otras opciones incluían arrendar almacenes en todo el país. Arrendar un almacén implicaba costos fijos basados en su tamaño y costos variables que dependían de la cantidad enviada a través de él. Se identificaron cuatro sitios potenciales para los almacenes en Denver, Seattle, Atlanta y Filadelfia. Los almacenes arrendados podían ser pequeños (cerca de 100,000 pies cuadrados) o grandes (200,000 pies cuadrados). Los almacenes pequeños podrían manejar un flujo de hasta 2 millones de unidades al año, mientras que el de los almacenes grandes podría ser de hasta de 4 millones al año. El almacén existente en San Luis era pequeño. Los costos fijos y variables de los almacenes pequeños y grandes en las diferentes ubicaciones se muestran en la tabla 5-16.

Sanjay estimó que los costos de mantenimiento del inventario en un almacén (excluyendo los gastos del almacén) eran alrededor de $\$600\sqrt{F}$, donde F es el número de unidades que fluyen a través del almacén al año. Esta relación se basa en la observación teórica de que el inventario que se mantiene en una instalación (no a través de la red) es proporcional a la raíz cuadrada del producto que pasa a través de la instalación. En consecuencia, la agregación del producto a través de algunas instalaciones reduce el inventario mantenido en comparación con la desagregación del producto a través de muchas instalaciones. Por tanto, un almacén que maneja 1 millón de unidades al año incurre en un costo de mantenimiento de $600,000 en el transcurso de un año.

Tabla 5-16 Costos fijos y variables de los almacenes potenciales

	Almacén pequeño		Almacén grande	
Ubicación	Costo fijo ($/año)	Costo variable ($/unidad)	Costo fijo ($/año)	Costo variable ($/unidad)
Seattle	300,000	0.20	500,000	0.20
Denver	250,000	0.20	420,000	0.20
San Luis	220,000	0.20	375,000	0.20
Atlanta	220,000	0.20	375,000	0.20
Filadelfia	240,000	0.20	400,000	0.20

Si su versión de Excel tiene problemas para resolver la función objetivo no lineal, use los siguientes costos de inventario:

Rango de F	Costo de inventario
0-2 millones	$250,000Y + 0.310F
2-4 millones	$530,000Y + 0.170F
4-6 millones	$678,000Y + 0.133F
Más de 6 millones	$798,000Y + 0.113F

Si puede manejar sólo un costo de inventario único, deberá utilizar $475,000$Y + 0.165F$. Para cada instalación $Y = 1$ si se utiliza la instalación, o bien 0 si no se utiliza.

SportStuff.com cobraba una tarifa fija de $3 por envío a un cliente. Un pedido promedio de un cliente contenía cuatro unidades. SportStuff a su vez contrató a UPS para manejar todos sus envíos. Los cargos de UPS se basaban tanto en el origen como en el destino del envío y se muestran en la tabla 5.17. La administración estimó que era probable que los costos de transporte entrante de los envíos realizados por los proveedores permanecieran sin cambio, independientemente de la configuración de almacén seleccionada.

Preguntas

1. Cuál es el costo en que incurre SportStuff.com si todos los almacenes arrendados están en San Luis?
2. ¿Qué configuración de red de cadena de suministro recomienda para SportStuff.com? ¿Por qué?
3. ¿Cómo cambiaría su recomendación si los costos de transporte fueran el doble de los que se muestran en la tabla 5-17?

Tabla 5-17 Cargos de UPS por envío (cuatro unidades)

	Noroeste	Suroeste	Oeste medio superior	Oeste medio inferior	Noreste	Sureste
Seattle	$2.00	$2.50	$3.50	$4.00	$5.00	$5.50
Denver	$2.50	$2.50	$2.50	$3.00	$4.00	$4.50
San Luis	$3.50	$3.50	$2.50	$2.50	$3.00	$3.50
Atlanta	$4.00	$4.00	$3.00	$2.50	$3.00	$2.50
Filadelfia	$4.50	$5.00	$3.00	$3.50	$2.50	$4.00

ESTUDIO DE CASO

Diseño de la red de producción de CoolWipes

Matt O'Grady, vicepresidente de la cadena de suministro de CoolWipes consideró que su actual red de producción y distribución no era apropiada dado el incremento significativo en los costos de transporte de algunos años anteriores. Comparados a cuando la compañía estableció su factoría en Chicago, los costos se habían incrementado por un factor de más de cuatro y se esperaba que continuaran aumentando en los siguientes años. Una rápida decisión de construir una o más plantas nuevas podría en el futuro ahorrar a la compañía sumas significativas en los gastos de transporte.

CoolWipes

CoolWipes se fundó a finales de la década de 1980 y producía toallitas húmedas para bebé y pomada para rozaduras. La demanda de los dos productos se muestra en la tabla 5-18. La compañía contaba con una fábrica en Chicago que producía ambos productos para todo el país. La línea de toallitas húmedas en la instalación de Chicago tenía una capacidad de 5 millones de unidades, un costo fijo anualizado de $5 millones al año, y un costo variable de $10 por unidad. La línea de pomadas tenía

(Continúa)

(Continuación)

Tabla 5-18 Demanda regional en CoolWipes (en miles)

Zona	Demanda de toallitas húmedas	Demanda de pomada	Zona	Demanda de toallitas húmedas	Demanda de pomada
Noroeste	500	50	Oeste medio inferior	800	65
Suroeste	700	90	Noreste	1,000	120
Oeste medio superior	900	120	Sureste	600	70

una capacidad de 1 millón de unidades, un costo fijo anualizado de $1.5 millones al año, y un costo variable de $20 por unidad. Los costos de transporte actuales por unidad (tanto de toallitas húmedas como de pomada) se muestran en la tabla 5-19.

Opciones para la nueva red

Matt había identificado a Princeton, Nueva Jersey, Atlanta y Los Angeles como sitios potenciales para nuevas plantas. Cada nueva planta podría tener una línea de toallitas húmedas, una de pomada, o ambas. Una nueva línea de toallitas húmedas tenía una capacidad de 2 millones de unidades, un costo fijo anual de $2.2 millones y un costo variable de producción de $10 por unidad. Una nueva línea de pomada tenía una capacidad de 1 millón de unidades, un costo fijo anual de $1.5 millones y un costo variable de $20 por unidad. Los costos de transporte actuales por unidad se muestran en la tabla 5-19. Matt tenía que decidir sobre la construcción de una nueva planta, y de ser así, qué líneas de producción incluir en ella.

Preguntas

1. ¿Cuál es el costo anual de atender todo el país desde Chicago?
2. ¿Recomienda agregar una planta o plantas? De ser así, ¿dónde la(s) construiría y qué líneas debería incluir? Suponga que la planta de Chicago se mantendrá en su capacidad actual pero podría funcionar a menor capacidad. ¿Sería diferente su decisión si los costos de transporte son la mitad de su valor actual? ¿Qué pasaría si fueran el doble de su valor actual?
3. Si Matt pudiera diseñar una nueva red desde cero (suponga que no tiene la planta de Chicago pero que podría construirla al costo y capacidad especificados), ¿qué red de producción recomendaría? Suponga que cualesquier plantas nuevas construidas además de la de Chicago serían al costo y capacidad especificados conforme a las nuevas opciones de red. ¿Sería diferente su decisión si los costos de transporte fueran la mitad de su valor actual? ¿Qué pasaría si fueran el doble de su valor actual?

Tabla 5-19 Costos de transporte por unidad

	Noroeste	Suroeste	Oeste medio superior	Oeste medio inferior	Noreste	Sureste
Chicago	$6.32	$6.32	$3.68	$4.04	$5.76	$5.96
Princeton	$6.60	$6.60	$5.76	$5.92	$3.68	$4.08
Atlanta	$6.72	$6.48	$5.92	$4.08	$4.04	$3.64
Los Angeles	$4.36	$3.68	$6.32	$6.32	$6.72	$6.60

6



Diseño de redes de cadena de suministro globales

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Identificar los factores que deben incluirse en el costo total cuando se toman decisiones de aprovisionamiento global.
2. Definir las incertidumbres que son particularmente relevantes cuando se diseñan cadenas de suministro globales.
3. Explicar las diferentes estrategias de diseño que pueden utilizarse para mitigar el riesgo en cadenas de suministro globales.
4. Entender las metodologías del árbol de decisión que se utilizan para evaluar decisiones del diseño de cadenas de suministro bajo incertidumbre.

La globalización ha ofrecido una gran oportunidad y también un riesgo incrementado en el desarrollo de cadenas de suministro. Cadenas de suministro de alto desempeño como Nokia y Zara han aprovechado la globalización en todo lo que vale. Por el contrario, varias cadenas de suministro no se han preparado para el riesgo incrementado que ha acompañado a la globalización. En consecuencia, los gerentes deben tener en cuenta tanto las oportunidades como las incertidumbres en el largo plazo al diseñar una red de cadena de suministro global. En este capítulo identificamos las fuentes de riesgo para cadenas de suministro globales, analizamos estrategias de mitigación de riesgo, detallamos las metodologías que se utilizan para evaluar decisiones de diseño de red en situaciones de incertidumbre, y demostramos cómo mejoran las decisiones relacionadas con la cadena de suministro global.

6.1 IMPACTO DE LA GLOBALIZACIÓN EN REDES DE CADENA DE SUMINISTRO

La globalización ofrece a las compañías oportunidades de incrementar los ingresos y al mismo tiempo reducir los costos. En su informe anual de 2008, P&G reportó que más de un tercio del crecimiento de las ventas de la compañía provenía de mercados en desarrollo con un margen de utilidad comparable a los márgenes de mercados desarrollados. Para 2010 las ventas de la compañía en mercados en desarrollo representaron casi 34% de las ventas globales. Asimismo, los dos mercados más grandes de Nokia en 2009, en términos de ventas netas, fueron China e India. Las ventas en estos dos países representaron casi 21.5% y las ventas en los países del BRIC (Brasil, Rusia, India y China) representaron más de 28% de las ventas globales de Nokia en 2009. Evidentemente, la globalización ha ofrecido tanto a P&G como a Nokia una importante oportunidad de mejorar ingresos.

La ropa y los aparatos electrónicos son dos áreas en las que la globalización ha ofrecido oportunidades de reducción de costos significativas. Los aparatos electrónicos se enfocan en artículos pequeños, ligeros, de alto valor, que son relativamente fáciles y baratos de enviar. Las compañías han explotado las grandes economías de escala al consolidar la producción de componentes electrónicos estandarizados en un solo lugar, para usarlos en múltiples productos por todo el mundo. Los fabricantes por contrato como Foxcom y Flextronics se han convertido en gigantes con instalaciones en

países de costos bajos. La fabricación de ropa implica mucha mano de obra y el producto es relativamente ligero y barato de transportar. Las compañías han explotado la globalización al mudar mucha fabricación de ropa a países de mano de obra barata, sobre todo China. En la primera mitad de 2009, cerca de 33% de las importaciones de ropa de Estados Unidos provenía de China. El resultado neto es que ambas industrias se han beneficiado enormemente con la reducción de costos como resultado de la globalización.

Se debe tener en cuenta, sin embargo, que las oportunidades ofrecidas por la globalización a menudo conllevan un riesgo significativo adicional. En una encuesta realizada por la compañía consultora Accenture en 2006, más de 50% de los ejecutivos entrevistados consideró que el riesgo de la cadena de suministro se había incrementado como resultado de su estrategia de operaciones global. Por ejemplo, en 2005, el daño provocado por un huracán a 40,000 acres de plantaciones redujo la producción global de plátanos de Dole en casi 25%. La escasez de componentes cuando Sony introdujo la consola de juegos Play Station 3 perjudicó los ingresos y el precio de sus acciones. La capacidad de incorporar una mitigación de riesgo adecuada al diseño de una cadena de suministro ha sido la diferencia entre las cadenas de suministro globales que han tenido éxito y las que no.

La encuesta de Accenture clasificó el riesgo en cadenas de suministro globales como se muestra en la tabla 6-1 y pidió a los encuestados que señalaran los factores que los afectaban. Más de un tercio de ellos fueron afectados por desastres naturales, la volatilidad de los precios de los combustibles y el desempeño de los socios de la cadena de suministro.

Las fluctuaciones de los precios de entrega inmediata del petróleo crudo y los tipos de cambio en 2008 ilustran la extrema volatilidad que las cadenas de suministro globales deben enfrentar. El crudo comenzó en 2008 a casi $90 por barril, alcanzó un precio máximo en julio de más de $140 por barril y bajó a $40 por barril en diciembre. El euro comenzó 2008 en cerca de $1.47; alcanzó su valor máximo en julio en casi $1.60; bajó a cerca de $1.25 a fines de octubre, y luego volvió a subir a $1.46 a finales de diciembre. ¡No nos podemos imaginar el caos que dicha fluctuación provocó en el desempeño de la cadena de suministro en 2008! Desde entonces han continuado fluctuaciones similares en los tipos de cambio y los precios del crudo.

La única constante en la administración de la cadena de suministro global parece ser la incertidumbre. Durante la vida de una red de cadena de suministro una compañía experimenta fluctuaciones en la demanda, precios, tipos de cambio y el entorno competitivo. Una decisión que luce buena en el ambiente actual puede ser bastante deficiente si la situación cambia. Entre 2000 y 2008, el euro fluctuó entre un valor bajo de $0.84 y un valor alto de casi $1.60. Desde luego, las cadenas de suministro optimizadas a $0.84 por euro tuvieron dificultades para funcionar bien cuando el euro subió a $1.60.

La incertidumbre de la demanda y los precios motivó la construcción de una capacidad de producción flexible en una planta. Si los precios y la demanda varían con el tiempo en una red global, la capacidad de producción flexible se puede reconfigurar para maximizar las utilidades en el nuevo entorno. Entre 2007 y

Tabla 6-1 Resultados de la encuesta de Accenture sobre fuentes de riesgo que afectan el desempeño de la cadena de suministro global

Factores de riesgo	Porcentaje de las cadenas de suministro afectadas
Desastres naturales	35
Escasez de recursos calificados	24
Incertidumbre geopolítica	20
Infiltración terrorista en los cargamentos	13
Volatilidad de los precios del combustible	37
Fluctuación monetaria	29
Retardos por trámites en puertos/aduanas	23
Cambios de preferencia del cliente/consumidor	23
Desempeño de los socios de la cadena de suministro	38
Capacidad/complejidad logística	33
Precisión del pronóstico/planeación	30
Temas de planeación/comunicación con proveedores	27
Tecnología de cadena de suministro inflexible	21

Fuente: Adaptado de Jaume Ferre, Johann Karlberg, y Jamie Hintlian. (Marzo 2007). Integration: The Key to Global Success. *Supply Chain Management Review,* pp. 24-30.

2008 las ventas de automóviles en Estados Unidos se redujeron en más de 30%. Aunque todas las categorías de vehículos se vieron afectadas, la caída en las ventas del tipo SUV fue mucho más significativa que la de las ventas de vehículos pequeños e híbridos. Las ventas de SUV cayeron casi 35%, pero las de automóviles pequeños se incrementaron cerca de 1%. Honda enfrentó esta fluctuación con más eficacia que sus competidores, ya que sus plantas eran lo bastante flexibles para producir ambos tipos de vehículo. Esta flexibilidad de producir tanto SUV como automóviles en la misma instalación mantuvo a las plantas de Honda operando a un nivel de utilización razonablemente alto. En contraste, las compañías con plantas dedicadas a producir SUV no tuvieron más opción que dejar ociosa mucha de su capacidad. A fines de la década de 1990 Toyota flexibilizó sus plantas de ensamble globales de modo que cada planta pudiera abastecer múltiples mercados. Uno de los principales beneficios de esta flexibilidad es que permite a Toyota reaccionar ante fluctuaciones de la demanda, tipos de cambio y precios locales, modificando la producción para maximizar las utilidades. Por tanto, la oferta, la demanda y la incertidumbre financiera deben considerarse al tomar decisiones de diseño de la red global.

6.2 LA DECISIÓN DE LOCALIZAR EXTERNAMENTE (*OFFSHORING*): COSTO TOTAL

Esta importancia de ventaja comparativa en las cadenas de suministro globales fue reconocida por Adam Smith en *The Wealth of Nations* cuando dijo “Si un país extranjero nos puede abastecer con productos producidos a granel a mejores precios que los nuestros, es mejor comprarles una parte a ellos con una parte de la producción de nuestra propia industria, empleada en una forma en la que tengamos una cierta ventaja”. La reducción de costos al trasladar la producción a países de costos bajos se suele mencionar entre las principales razones por las que una cadena de suministro se vuelve global. El desafío, sin embargo, es cuantificar los beneficios (o ventaja comparativa) de la producción en localización externa junto con las razones para esta ventaja comparativa. Mientras que muchas compañías aprovechan la reducción de costos gracias a la localización externa, otras se han dado cuenta de que los beneficios de la localización externa en países de costos bajos son mucho menores de lo que se había pensado y en algunos casos inexistentes. Los incrementos de los costos de transporte entre 2000 y 2011 han tenido un impacto negativo significativo en los beneficios percibidos de la localización externa. Las compañías no han ganado con la localización externa por dos razones primordiales: 1. enfocarse exclusivamente en el costo unitario en vez del costo total al tomar la decisión de una localización externa; y, 2. ignorar los factores de riesgo críticos. En esta sección nos enfocamos en las dimensiones a lo largo de las cuales deben evaluarse los costos cuando se toma una decisión de localizar externamente.

Las dimensiones significativas del costo total pueden identificarse al enfocarse en el proceso de aprovisionamiento completo cuando se localiza externamente. Es importante tener en cuenta que una cadena de suministro global con localización externa incrementa la duración y cantidad de la información, el producto y los flujos de efectivo. En consecuencia, la complejidad y costo de manejar la cadena de suministro pueden ser significativamente mayores que los anticipados. La tabla 6-2 identifica dimensiones a lo largo de las cuales debe analizarse cada uno de los tres flujos en cuanto al impacto en el costo y disponibilidad del producto.

Ferreira y Prokopets (2009) sugieren que las compañías deben evaluar el impacto de la localización externa con base en los siguientes elementos fundamentales del costo total:

1. Precios del proveedor: deben vincularse a los costos de materiales directos, mano de obra directa, mano de obra indirecta, administración, gastos generales, amortización de capital, impuestos locales, costos de fabricación y costos de cumplimiento normativo.
2. Condiciones: los costos se ven afectados por las condiciones de pago neto y cualesquier descuentos por volumen.
3. Costos de entrega: incluyen transporte en el país, fletes marítimos/aéreos, transporte al destino y empacado.
4. Inventario y manejo de almacén: incluyen inventarios en planta, manejo en planta, costos de almacenamiento en planta, inventarios de la cadena de suministro y costos de almacenamiento de la cadena de suministro.
5. Costo de calidad: incluye el costo de validación, el costo de la caída de desempeño debido a calidad deficiente, y el costo de soluciones incrementales para combatir la caída de calidad.

6. Derechos pagados por el cliente: impuestos al valor agregado, incentivos fiscales locales.
7. Costo de riesgo, personal de compras, comisiones de agentes, infraestructura (TI e instalaciones), y costos de herramental y moldeado.
8. Tendencias del tipo de cambio y su impacto en el costo.

Tabla 6-2 Dimensiones a considerar cuando se evalúa el costo total de una localización externa

Dimensión de desempeño	Actividad que impacta el desempeño	Impacto de la localización externa
Comunicación del pedido	Colocación del pedido	Comunicación más difícil
Visibilidad de la cadena de suministro	Programación y agilización	Visibilidad deficiente
Costos de materia prima	Aprovisionamiento de materia prima	Podría irse a ambos lados dependiendo del aprovisionamiento de materia prima
Costo unitario	Producción, calidad (producción y transporte)	Reducción de los costos de mano de obra/fijos; la calidad puede verse afectada
Costos de fletes	Modos de transporte y cantidad	Costos de fletes más elevados
Impuestos y aranceles	Cruce de fronteras	Podría irse a ambos lados
Tiempo de entrega de suministro	Comunicación del pedido, programación de producción del proveedor, tiempo de producción, aduanas, transporte, recepción	El incremento del tiempo de entrega produce pronósticos deficientes e inventarios más altos
Incertidumbre en el tiempo de entrega/entrega a tiempo	Producción, calidad, aduanas, transporte, recepción	De una deficiente entrega a tiempo e incertidumbre incrementada resultan altos inventarios y menor disponibilidad del producto
Cantidad de pedido mínima	Producción, transporte	Las cantidades mínimas más grandes incrementan el inventario
Devoluciones de producto	Calidad	Probablemente más devoluciones
Inventarios	Tiempos de espera, inventario en tránsito y producción	Se incrementan
Capital de trabajo	Inventarios y reconciliación financiera	Se incrementan
Costos ocultos	Comunicación del pedido, errores de facturación, manejo del riesgo de tipo de cambio	Costos ocultos más altos
Falta de existencias	Colocación de pedidos, producción, transporte, con deficiente visibilidad	Se incrementan

Es importante cuantificar con cuidado estos factores al tomar la decisión de localización externa y darles seguimiento. Como la tabla 6-2 lo indica, es probable que la reducción del costo unitario derivada de los costos de mano de obra y fijos, junto con posibles ventajas fiscales, sea el mayor beneficio derivado de la localización externa, con casi cualquier otro factor empeorándose. En algunos casos la sustitución de la mano de obra por el capital puede brindar beneficios cuando una compañía se localiza externamente. Por ejemplo, las plantas automotrices y de partes de autos en la India están diseñadas con mucho mayor contenido de mano de obra que sus similares en países desarrollados para reducir los costos fijos. El beneficio de reducir el costo de la mano de obra; sin embargo, es improbable que sea significativo para un producto manufacturado si el costo de la mano de obra es una pequeña fracción del costo total. También es el caso que en varios países de costos bajos como China y la India, los costos de la mano de obra se han elevado significativamente. Como Goel y colaboradores lo mencionan (2008), la inflación de los salarios en China promedió 19% en términos de dólares entre 2003 y 2008 en comparación con casi 3% en Estados Unidos. Durante el mismo periodo, los costos de transporte se incrementaron en una cantidad significativa (los de los fletes marítimos aumentaron 135% entre 2005 y 2008) y el yuan chino se fortaleció con respecto al dólar (cerca de 18% entre 2005 y 2008). El resultado neto fue que la localización externa de productos manufacturados de Estados Unidos a China lucía menos atractiva en 2008 que en 2003.

En general, es probable que la localización externa a países de costos bajos sea más atractiva para productos con alto contenido de mano de obra, grandes volúmenes de producción, relativamente poca variedad y bajos costos de transporte con respecto al valor del producto. Por ejemplo, es probable que una compañía que produce una gran variedad de bombas encuentre que la localización externa de la producción de fundiciones para una parte común en muchas bombas sea mucho más atractiva que la localización externa de partes diseñadas altamente especializadas.

Dado que el aprovisionamiento global tiende a incrementar los costos de transporte, es importante enfocarse en reducir el contenido de transporte para un aprovisionamiento global exitoso. Los componentes adecuadamente diseñados permiten una mayor densidad cuando se transportan productos. IKEA fabrica productos de diseño modular que el cliente ensambla. Esto permite enviar los módulos en volúmenes de alta densidad, lo que reduce los costos de transporte. Asimismo, Nissan rediseñó sus componentes globalmente adquiridos de modo que pueden empacarse con una mayor densidad cuando se envían. El uso de centros de abastecimiento puede ser eficaz si se suministran globalmente varios componentes desde diferentes lugares. Muchos fabricantes han creado centros de abastecimiento en Asia, alimentados por cada uno de sus proveedores asiáticos. Esto permite el envío de embarques consolidados desde el centro de distribución en lugar de varios envíos pequeños desde cada proveedor. Las políticas flexibles más sofisticadas que permitan realizar envíos directos desde el proveedor cuando los volúmenes son altos, acopladas con envíos consolidados a través de un centro de abastecimiento cuando los volúmenes son bajos, pueden ser más eficaces para reducir el contenido de transporte.

También es importante revisar con cuidado el proceso de producción para decidir qué partes deben localizarse externamente. Por ejemplo, un pequeño fabricante de joyas estadounidense deseaba localizar externamente la fabricación de una pieza de joyería en Hong Kong. La materia prima en forma de hoja de oro se obtenía en Estados Unidos. El primer paso en el proceso de fabricación era troquelar la hoja de oro en un tamaño adecuado. Este proceso generaba casi 40% de desperdicio, el cual se reciclaba para producir más hoja de oro. El fabricante enfrentaba la opción de troquelar en Estados Unidos o en Hong Kong. El troquelado en Hong Kong incurriría en un costo de mano de obra bajo pero en un costo de transporte más alto y requeriría más capital de trabajo debido a la espera antes de que el oro desperdiciado pudiera reciclarse. Un análisis cuidadoso indicó que era más barato instalar las herramientas de troquelado con el proveedor de hoja de oro en Estados Unidos. El troquelado en las instalaciones del proveedor de oro reducía el costo de transporte ya que a Hong Kong sólo se enviaba el material utilizable. Aún más importante fue que esta decisión redujo el requerimiento de capital de trabajo porque el oro desperdiciado se reciclaba en dos días.

Uno de los desafíos más grandes con la localización externa es el riesgo incrementado y su impacto potencial en el costo. Este desafío se exacerba si una compañía utiliza una localización externa enfocada sobre todo en bajos costos para absorber todas las incertidumbres en su cadena de suministro. En ese contexto, a menudo es más eficaz utilizar una combinación de una instalación localizada externamente que sea predecible, de alto volumen de trabajo con una instalación localizada internamente o una ubicada en un país cercano diseñada en especial para manejar la mayor parte de la fluctuación. Las compañías que utilizan sólo una instalación localizada externamente a menudo se encuentran con que tienen que mantener un inventario adicional y recurrir al flete aéreo debido a los largos y variables tiempos de espera. La presencia de una instalación flexible localizada internamente que absorba toda la variación a menudo puede reducir el costo total al eliminar el caro flete de salida y reducir considerablemente la cantidad de inventario mantenido en la cadena de suministro.

Punto clave

Es crítico que las decisiones de localización externa se tomen teniendo en cuenta el costo total. En general la localización externa reduce los costos de mano de obra y fijos, pero incrementa el riesgo, los costos de los fletes y el capital de trabajo. Antes de una localización externa, el diseño del producto y del proceso debe evaluarse con cuidado para identificar los pasos que pueden reducir el contenido del flete y la necesidad de capital de trabajo. La inclusión de una opción de localización interna puede reducir el costo asociado con la cobertura del riesgo de una instalación localizada externamente.

6.3 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN CADENAS DE SUMINISTRO GLOBALES

En la actualidad las cadenas de suministro globales están sujetas a más factores de riesgo que las cadenas de suministro localizadas del pasado. Estos riesgos incluyen la interrupción del suministro, demoras en el suministro, fluctuaciones de la demanda, fluctuaciones de precios y fluctuaciones del tipo de cambio. Como fue evidente en la crisis financiera de 2008, subestimar los riesgos en cadenas de suministro globales y no contar con estrategias de mitigación adecuadas puede dar lugar a resultados desastrosos. Por ejemplo, la contaminación en uno de los dos proveedores de vacunas contra la gripe de Estados Unidos provocó una severa escasez a principios de la temporada de gripe en 2004. Esta escasez dio lugar a racionamiento en la mayoría de los estados y a una grave escalada de precios en algunos casos. Asimismo, el fortalecimiento significativo del euro en 2008 perjudicó a las empresas que tenían la mayor parte de sus fuentes de suministro ubicadas en Europa Occidental. En otro caso, el no protegerse contra la incertidumbre en el suministro con suficiente inventario originó altos costos en lugar de ahorros. Un fabricante de componentes automotrices esperaba ahorrar 4 a 5 millones al año aprovisionándose desde Asia en lugar de México. A consecuencia del congestionamiento en el puerto de Los Ángeles-Long Beach, la compañía tuvo que alquilar un avión para traer las partes de Asia ya que no contaba con suficiente inventario para cubrir las demoras. Un alquiler que habría sido de $20,000 por avión desde México terminó costándole $750,000 a la compañía. Los ahorros anticipados se convirtieron en una pérdida de $20 millones.

Por tanto, es crítico que las cadenas de suministro globales estén enteradas de los factores de riesgo pertinentes e incorporen estrategias de mitigación adecuadas. La tabla 6-3 contiene una categorización de riesgos de la cadena de suministro y sus factores que deben considerarse durante el diseño de la red.

Tabla 6-3 Riesgos para la cadena de suministro que deben considerarse durante el diseño de la red

Categoría	Factores de riesgo
Interrupciones	Desastres naturales, guerra, terrorismo Disputas laborales Quiebra del proveedor
Demoras	Utilización de alta capacidad en la fuente de suministro Inflexibilidad de la fuente de suministro Calidad o producción deficiente en la fuente de suministro
Riesgo en los sistemas	Avería de la infraestructura de información Integración del sistema o extensión de los sistemas que componen la red
Riesgo en el pronóstico	Pronósticos imprecisos debido a largos tiempos de espera, estacionalidad, variedad del producto, ciclos de vida cortos, base de clientes pequeña Distorsión de la información
Riesgo de la propiedad intelectual	Integración vertical de la cadena de suministro Subcontratación y mercados globales
Riesgo en la adquisición	Riesgo en el tipo de cambio Precio de insumos Fracción adquirida de una sola fuente Utilización de la capacidad a nivel de toda la industria
Riesgo en las cuentas por cobrar	Número de clientes Fortaleza financiera de los clientes
Riesgo en el inventario	Tasa de obsolescencia del producto Costo de mantenimiento del inventario Valor del producto Incertidumbre en la demanda y la oferta
Riesgo en la capacidad	Costo de la capacidad Flexibilidad de la capacidad

Fuente: Adaptado de Sunil Chopra y Manmohan S. Sodhi. (Otoño de 2004). "Managing Risk to Avoid Supply Chain Breakdown", *Sloan Management Review,* pp. 53-61.

Un buen diseño de red puede desempeñar un rol significativo al mitigar el riesgo de la cadena de suministro. Por ejemplo, contar con múltiples proveedores mitiga el riesgo de una interrupción de cualquier fuente de suministro. Un excelente ejemplo es la diferencia del impacto en Nokia y Ericsson cuando una planta propiedad de Royal Phillips Electronics, ubicada en Albuquerque, Nuevo México, se incendió en marzo de 2000. Nokia se ajustó rápidamente a la interrupción utilizando otras plantas de suministro de su red. Por el contrario, Ericsson no contaba con ninguna fuente de respaldo en su red y fue incapaz de reaccionar; estimó que como resultado su pérdida de ingresos fue de $400 millones. Asimismo, contar con una capacidad flexible mitiga los riesgos de las fluctuaciones de la demanda global, los precios y el tipo de cambio. Por ejemplo, Hino Trucks utiliza la capacidad flexible en sus plantas para cambiar los niveles de producción de diferentes productos al desplazar la fuerza laboral entre líneas. En consecuencia, la compañía mantiene una fuerza laboral constante en la planta aun cuando la producción en cada línea varíe, para acoplar mejor la demanda y la oferta. Como estos ejemplos lo ilustran, el diseño de estrategias de mitigación en la red mejora considerablemente la capacidad de la cadena de suministro de enfrentar el riesgo.

Cada estrategia de mitigación, sin embargo, conlleva un precio y puede incrementar otros riesgos. Por ejemplo, aumentar el inventario mitiga el riesgo de retraso pero incrementa el riesgo de obsolescencia. Adquirir a partir de múltiples proveedores mitiga el riesgo de interrupción pero incrementa los costos porque cada proveedor puede afrontar dificultades para lograr economías de escala. Por consiguiente, es importante desarrollar estrategias de mitigación personalizadas durante el diseño de la red que logren un buen equilibrio entre la cantidad de riesgo mitigado y el incremento del costo. En la tabla 6-4 se describen algunas estrategias de mitigación personalizadas. Páginas adelante se analiza con más detalle la mayoría de estas estrategias.

En general, las cadenas de suministro globales deben utilizar una combinación de estrategias de mitigación diseñadas en la cadena de suministro junto con estrategias financieras para minimizar los riesgos no cubiertos. Una estrategia de cadena de suministro global enfocada en la eficiencia y costo bajo puede concentrar su producción global en pocos países de costos bajos. Tal diseño de cadena de suministro es vulnerable al riesgo de interrupción del suministro lo mismo que a fluctuaciones de los precios de transporte y tipos de cambio. En un escenario como ese, es crucial que la empresa se proteja contra costos de combustible y tipos de cambio ya que el diseño mismo de la cadena de suministro no incluye mecanismos para enfrentar

Tabla 6-4 Estrategias de mitigación de riesgos personalizadas durante el diseño de una red

Estrategia de mitigación de riesgos	Estrategias personalizadas
Incrementar la capacidad	Enfocarse en la capacidad descentralizada de bajo costo para demanda predecible. Establecer capacidad centralizada para la demanda impredecible. Incrementar la descentralización conforme el costo de la capacidad se reduce.
Conseguir proveedores redundantes	Más suministro redundante para productos de alto volumen, menos redundancia para productos de bajo volumen. Centralizar la redundancia para productos de bajo volumen en algunos proveedores flexibles.
Incrementar la capacidad de respuesta	Favorecer el costo sobre la capacidad de respuesta de productos de consumo. Favorecer la capacidad de respuesta sobre el costo para productos de ciclo de vida corto.
Incrementar el inventario	Descentralizar el inventario de productos predecibles de bajo valor. Centralizar el inventario de productos de alto valor menos predecible.
Incrementar la flexibilidad	Favorecer el costo sobre la flexibilidad para productos predecibles de alto volumen. Favorecer la flexibilidad para productos impredecibles de bajo volumen. Centralizar la flexibilidad en pocos lugares si es cara.
Agrupar o agregar la demanda	Incrementar la agregación conforme crece lo impredecible.
Incrementar la capacidad de la fuente	Preferir la capacidad sobre el costo para productos de riesgo y valor altos. Favorecer el costo sobre la capacidad para productos de consumo de bajo valor. Centralizar una alta capacidad en una fuente flexible si es posible.

Fuente: Adaptado de Sunil Chopra y Manmohan S. Sodhi. (Otoño de 2004). "Managing Risk to Avoid Supply Chain Breakdown". *Sloan Management Review*, pp. 53-61.

estas fluctuaciones. En contraste, una cadena de suministro global diseñada con capacidad flexible excedente que permite trasladar la producción a cualquier lugar es más eficaz en un conjunto dado de condiciones macroeconómicas. La capacidad de reacción de un diseño flexible ante las fluctuaciones reduce la necesidad de coberturas financieras. Las coberturas de operación como la flexibilidad son más complejas de ejecutar que las financieras, pero ofrecen la ventaja de ser reactivas ya que la cadena de suministro puede reconfigurarse para que reaccione mejor al estado macroeconómico del mundo.

Es importante tener en cuenta que cualquier estrategia de mitigación de riesgo no siempre es "en el dinero". Por ejemplo, la flexibilidad incorporada a las plantas de Honda demostró su eficacia sólo cuando la demanda de vehículos cambió de una manera impredecible en 2008. Si no hubiera habido fluctuaciones en la demanda, la flexibilidad habría quedado sin utilizar. La flexibilidad en la forma de un sistema de ensamble de carrocerías inteligente (IBAS, *Intelligent Body Assembly System*) construido por Nissan a principios de la década de 1990 casi quebró a la compañía ya que el estado de los mercados automotrices era relativamente estable en esa época. Asimismo, el uso de coberturas de combustible que ascendieron a miles de millones para Southwest Airlines le costó dinero hacia finales de 2008 cuando los precios del petróleo crudo cayeron considerablemente.

Por ello, resulta crítico que antes de implementar las estrategias de mitigación de riesgo se evalúen rigurosamente como opciones reales en términos de su valor esperado en el largo plazo. En las siguientes secciones analizamos metodologías que permiten la evaluación financiera de estrategias de mitigación de riesgo diseñadas en una cadena de suministro global.

Flexibilidad, encadenamiento, contención

La flexibilidad desempeña un rol importante en la mitigación de diferentes riesgos e incertidumbres enfrentados por una cadena de suministro global, y puede dividirse en tres categorías generales —flexibilidad de un nuevo producto, flexibilidad combinada, y flexibilidad de volumen—. La *flexibilidad de un nuevo producto* se refiere a la habilidad de una empresa de introducir con rapidez productos nuevos al mercado. Esta flexibilidad es crítica en un ambiente competitivo donde la tecnología evoluciona y la demanda del cliente es caprichosa. La flexibilidad de un nuevo producto puede derivarse del uso de arquitecturas comunes y plataformas de producto con el objetivo de proporcionar un gran número de modelos distintos utilizando tan pocas plataformas únicas como sea posible. Históricamente, la industria de las computadoras personales ha seguido este método para introducir una corriente continua de productos nuevos. La flexibilidad de un nuevo producto también puede resultar si una fracción de la capacidad de producción es lo bastante flexible como para elaborar cualquier producto. Este método se ha utilizado en la industria farmacéutica en la que una fracción de la capacidad es muy flexible y fabrica todos los nuevos productos. Sólo después de que el producto despega se traslada a una capacidad dedicada con costos bajos variables.

Flexibilidad combinada se refiere a la capacidad de producir una variedad de productos en un corto periodo. Es crítica en un ambiente donde la demanda de productos individuales es mínima o altamente impredecible, el suministro de materias primas es incierto, y la tecnología evoluciona con rapidez. La industria de artículos electrónicos es un buen ejemplo en el que la flexibilidad combinada es esencial en ambientes de producción, sobre todo cuando más producción se traslada a fabricantes contratados. El diseño modular y los componentes comunes facilitan la flexibilidad combinada. Las instalaciones europeas de Zara cuentan con una significativa flexibilidad combinada, lo que permite a la compañía proporcionar ropa de moda con demanda altamente impredecible.

Flexibilidad del volumen se refiere a la capacidad de una empresa de operar con rentabilidad a diferentes niveles de producción. La flexibilidad del volumen es crítica en industrias cíclicas. Las empresas en la industria automotriz que carecían de flexibilidad del volumen resultaron muy perjudicadas en 2008 cuando la demanda de automóviles en Estados Unidos se contrajo de manera significativa. La industria del acero es un ejemplo en el cual una cierta flexibilidad del volumen y consolidación han ayudado al desempeño. Antes de 2000 las empresas tenían una limitada flexibilidad del volumen y no ajustaban los volúmenes de producción cuando la demanda comenzaba a decaer. El resultado fue una acumulación de inventarios y una caída significativa en el precio del acero. En los primeros años del siglo XXI algunas empresas grandes consolidaron y desarrollaron algo de flexibilidad del volumen. En consecuencia, fueron capaces de recortar la producción conforme la demanda caía. El resultado fue una menor acumulación de inventario y menores caídas en los precios durante las recesiones, seguidas por una recuperación más rápida de la industria del acero.

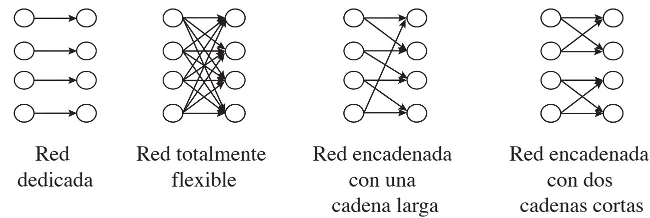


FIGURA 6-1 Diferentes configuraciones de flexibilidad en una red.

Dado que a menudo se utiliza alguna forma de flexibilidad para mitigar riesgos en cadenas de suministro globales, es importante entender los beneficios y limitaciones de este método. Cuando se enfrenta una demanda incierta, Jordan y Graves (1995) hacen la importante observación de que conforme se incrementa la flexibilidad, el beneficio marginal derivado de la flexibilidad incrementada se reduce. Sugieren operar esta idea en el concepto de encadenamiento, el cual se ilustra como sigue. Consideremos una empresa que vende cuatro productos distintos. Una red de suministro dedicada sin flexibilidad tendría cuatro plantas, cada una dedicada a producir un solo producto, como se muestra en la figura 6-1. Cada una de las plantas de una configuración de red totalmente flexible sería capaz de producir los cuatro productos. La flexibilidad de producción de las plantas es benéfica cuando la demanda de cada uno de los cuatro productos es impredecible. Con plantas dedicadas, la empresa no es capaz de satisfacer la demanda que exceda la capacidad de la planta. Con plantas flexibles, la compañía es capaz de satisfacer la demanda de un producto que exceda su capacidad. Jordan y Graves definen una red encadenada con una cadena larga (flexibilidad limitada), configurada como se muestra en la figura 6-1. En una configuración encadenada cada planta es capaz de producir dos productos con la flexibilidad organizada de modo que las plantas y sus productos formen una cadena. Jordan y Graves demuestran que una red encadenada mitiga el riesgo de fluctuación de la demanda casi tan eficazmente como una red totalmente flexible. Dado el alto costo de la flexibilidad completa, los resultados de Jordan y Graves indican que el encadenamiento es una excelente estrategia para reducir el costo al mismo tiempo que se obtiene la mayor parte de los beneficios de la flexibilidad.

La longitud deseada de las cadenas es una cuestión importante que debe abordarse cuando se diseñan redes encadenadas. Cuando se enfrentan a una demanda incierta, las cadenas largas tienen la ventaja de agrupar con eficacia la capacidad disponible a un mayor grado. Sin embargo, las cadenas largas tienen algunas desventajas. El costo fijo de construir una sola cadena larga puede ser más alto que el costo de múltiples cadenas pequeñas. Con una sola cadena larga, el efecto de cualquier fluctuación se propaga a todas las instalaciones en la cadena, lo que dificulta la coordinación a través de la red. Varios investigadores han observado también que la flexibilidad y el encadenamiento son eficaces cuando la demanda fluctúa, pero son menos eficaces cuando el suministro se interrumpe. Ante una interrupción del suministro, Lim y colaboradores (2008) han observado que diseñar cadenas pequeñas que contengan o limiten el impacto de una interrupción suele ser más eficaz que diseñar una red con una cadena larga. Un ejemplo de contención se muestra en el último ejemplo de la figura 6-1, el cual presenta cuatro plantas con la flexibilidad de producir los cuatro productos en la forma de dos cadenas cortas. En este diseño cualquier interrupción en una de las cadenas no impacta a la otra. Un ejemplo simple de contención es una granja de cerdos. Las granjas son grandes para obtener economías de escala, pero los cerdos se mantienen separados en pequeños grupos para que el riesgo de enfermarse se contenga en un grupo y no se esparza a toda la granja.

Punto clave

Una flexibilidad apropiada es un método eficaz para que una cadena de suministro global enfrente una variedad de riesgos e incertidumbres. Mientras que algo de flexibilidad es valioso, es posible que demasiada no valga la pena. Deben utilizarse estrategias como encadenamiento y contención para maximizar los beneficios derivados de la flexibilidad al mismo tiempo que se mantienen bajos los costos.

6.4 FLUJOS DE EFECTIVO DESCONTADOS

Las decisiones de diseño de una cadena de suministro global deben evaluarse como una secuencia de flujos de efectivo durante el tiempo que estén en vigor. Esto requiere la evaluación de flujos de efectivo futuros teniendo en cuenta los riesgos e incertidumbres que probablemente surjan en la cadena de suministro. En esta sección analizamos los fundamentos de análisis para evaluar flujos de efectivo futuros antes de introducir la incertidumbre en la siguiente sección.

El valor presente de una secuencia de flujos de efectivo es el valor de ésta en dólares actuales. El análisis de *flujo de efectivo descontado* (DCF, *Discounted Cash Flow*) evalúa el valor presente de cualquier secuencia futura de efectivo y permite a la gerencia comparar dos secuencias de efectivo en términos de su valor financiero. El análisis de DCF se basa en la premisa fundamental de que "un dólar de hoy vale más que uno de mañana" ya que un dólar actual se puede invertir y obtener un rendimiento además del dólar invertido. Esta premisa proporciona la herramienta básica para comparar el valor relativo de futuros flujos de efectivo que llegarán durante diferentes periodos de tiempo.

El valor presente de un futuro flujo de efectivo se determina con un factor de descuento. Si un dólar actual puede invertirse y obtener una tasa de rendimiento k a lo largo del siguiente periodo, una inversión de \$1 de hoy producirá $1 + k$ dólares en el siguiente periodo. Para un inversionista no habría ninguna diferencia entre obtener \$1 en el siguiente periodo o $\$1/(1 + k)$ en el periodo actual. Por tanto, \$1 en el siguiente periodo se descuenta como sigue

$$\text{factor de descuento} = \frac{1}{1+k} \qquad \textbf{(6.1)}$$

para obtener el valor presente.

La tasa de rendimiento k también se conoce como tasa de descuento, tasa de retorno mínimo, o costo de oportunidad de capital. Dada una secuencia de flujos de efectivo C_0, $C_{1\ldots}$, C_T durante los siguientes T periodos, y una tasa de rendimiento k, el valor presente neto (NPV, *Net Present Value*) de esta secuencia de flujos de efectivo está dado por

$$\text{NPV} = C_0 + \sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1}{1+k}\right)^t C_t \qquad \textbf{(6.2)}$$

El NPV de diferentes opciones debe compararse cuando se toman decisiones de cadena de suministro. Un NPV negativo para una opción indica que la opción perderá dinero para la cadena de suministro. La decisión con el NPV más alto proporcionará una cadena de suministro con el rendimiento financiero más alto.

EJEMPLO 6-1

Trips Logistics, una empresa de logística de terceros que proporciona almacenamiento y otros servicios logísticos, está enfrentando la decisión con respecto a la cantidad de espacio a rentar para el inminente periodo de tres años. El gerente general ha pronosticado que Trips Logistics requerirá manejar una demanda de 100,000 unidades durante cada uno de los siguientes tres años. Históricamente, Trips Logistics ha requerido 1,000 pies^2 de espacio de almacén por cada 1,000 unidades de demanda. Para los propósitos de este análisis, el único costo que Trips Logistics enfrenta es el del almacén.

Trips Logistics recibe un ingreso de \$1.22 por cada unidad de demanda. El gerente general debe decidir si firmar un contrato de arrendamiento por tres años, u obtener espacio de almacén en el mercado al contado cada año. El contrato de arrendamiento por tres años costará \$1 por pie^2 al año, y el precio en el mercado al contado se espera que sea de \$1.20 por pie^2 por cada uno de los tres años. La tasa de descuento de Trips Logistics es de $k = 0.1$.

Análisis:

El gerente general decide comparar el NPV de firmar un contrato de arrendamiento por tres años de 100,000 pies^2 de espacio de almacén con el de obtener espacio en el mercado al contado cada año. Trips Logistics

obtendrá \$1.22 por cada unidad y pagará \$1.20 por 1 pie^2 de espacio de almacén requerido. La utilidad anual esperada para Trips Logistics en este caso es la siguiente:

$$\text{Utilidad anual esperada si se obtiene espacio de almacén en el mercado al contado} = 100{,}000 \times \$1.22 - 100{,}000 \times \$1.20 = \$2{,}000.$$

La obtención de espacio de almacén en el mercado al contado proporciona a Trips Logistics un flujo de efectivo positivo esperado de \$2,000 en cada uno de los tres años. El NPV se evalúa como sigue:

$$\text{NPV (Sin arrendamiento)} = C_0 + \frac{C_1}{1+k} + \frac{C_2}{(1+k)^2} = 2{,}000 + \frac{2{,}000}{1.1} + \frac{2{,}000}{1.1^2} = \$5{,}471$$

Si el gerente general arrienda 100,000 pies^2 de espacio de almacén durante los siguientes tres años, Trips Logistics paga \$1 por pie^2 de espacio arrendado cada año. La utilidad anual esperada para Trips Logistics en este caso está dada por:

$$\text{Utilidad anual esperada con arrendamiento por tres años} = 100{,}000 \times \$1.22 - 100{,}000 \times \$1.00 = \$22{,}000.$$

La firma de un contrato por tres años proporciona a Trips Logistics un flujo de efectivo positivo de \$22,000 en cada uno de los tres años. El NPV se evalúa como

$$\text{NPV(Con arrendamiento)} = C_0 + \frac{C_1}{1+k} + \frac{C_2}{(1+k)^2} = 22{,}000 + \frac{22{,}000}{1.1} + \frac{22{,}000}{1.1^2} = \$60{,}182$$

El NPV de firmar el contrato es \$60,182 − \$5,471 = \$54,711 más alto que obtener espacio de almacén en el mercado al contado.

Basado en este análisis simple, un gerente puede optar por firmar el contrato. Sin embargo, esto no narra la historia completa ya que aún no hemos incluido la incertidumbre de los precios al contado y valorado la mayor flexibilidad para ajustarse a la incertidumbre que el mercado al contado proporciona al gerente. En la siguiente sección presentamos la metodología que permite la incertidumbre y analizamos cómo la inclusión de la incertidumbre de la demanda y costos futuros puede hacer que el gerente reconsidere la decisión.

6.5 EVALUACIÓN DE DECISIONES DEL DISEÑO DE RED MEDIANTE ÁRBOLES DE DECISIÓN

En cualquier cadena de suministro global, la demanda, los precios, los tipos de cambio y otros varios factores son sumamente inciertos y probablemente fluctúen durante la vida de cualquier decisión de cadena de suministro. En un ambiente incierto, el problema de utilizar un análisis simple de flujo de efectivo descontado es que en general subvalúa la flexibilidad. El resultado es con frecuencia una cadena de suministro que funciona bien si todo transcurre de acuerdo con el plan pero se vuelve terriblemente cara si sucede algo inesperado. Un gerente tomas varias decisiones diferentes cuando diseña una red de cadena de suministro. Por ejemplo:

- ¿Debe la empresa firmar un contrato en el largo plazo por espacio de almacén, u obtener espacio en el mercado al contado como se requiera?
- ¿Cuál debe ser la combinación de la empresa de contrato en el largo plazo y del mercado al contado en el portafolio de capacidad de transporte?
- ¿Qué tanta capacidad deben tener las diversas instalaciones? ¿Qué fracción de esta capacidad debe ser flexible?

Por ejemplo, hasta la década de 1990, toda la capacidad de producción en la industria farmacéutica era dedicada. La capacidad dedicada era más barata que la flexible pero sólo se podía utilizar para el medicamento

para el que estaba diseñada. Sin embargo, las compañías farmacéuticas tenían dificultad para pronosticar la demanda y precio de los medicamentos en el mercado. Por consiguiente, una gran fracción de la capacidad dedicada permanecía ociosa si la demanda pronosticada no se materializaba. En la actualidad, las compañías farmacéuticas siguen la estrategia de mantener un portafolio de capacidad dedicada y flexible. La mayoría de los productos se introducen en una instalación flexible y se cambian a una instalación dedicada sólo cuando se dispone de un pronóstico razonablemente preciso de la demanda futura.

Durante el diseño de una red, los gerentes requieren por tanto una metodología que les permita estimar la incertidumbre en su pronóstico de la demanda y el precio para luego incorporarla en el proceso de la toma de decisión. Tal metodología es más importante para decisiones de diseño de redes ya que estas decisiones son difíciles de cambiar en el corto plazo. En esta sección describimos tal metodología y demostramos que el tener en cuenta la incertidumbre puede tener un impacto significativo en el valor de las decisiones de diseño de redes.

Fundamentos del análisis con el árbol de decisión

Un *árbol de decisión* es un dispositivo gráfico para evaluar decisiones en situaciones de incertidumbre. Los árboles de decisión con DCF pueden usarse para evaluar decisiones de diseño de una cadena dada la incertidumbre en los precios, demanda, tipos de cambio e inflación.

El primer paso es establecer un árbol de decisión para identificar el número de periodos en el futuro que se considerarán cuando se tome la decisión. El tomador de decisiones también debe identificar la duración de un periodo —el cual puede ser un día, un mes, un trimestre o cualquier otro periodo—. La duración de un periodo debe comprender el tiempo mínimo durante el cual los factores que afectan las decisiones de la cadena de suministro pueden cambiar *significativamente*. “Significativamente” es difícil de definir, pero en la mayoría de los casos es apropiado utilizar como periodo la duración a lo largo de la cual un plan agregado se mantiene en vigor. Si la planificación se hace mensualmente, establecemos la duración de un periodo en un mes. En el siguiente análisis T representará el número de periodos a lo largo de los cuales debe evaluarse la decisión relacionada con la cadena de suministro.

El siguiente paso es identificar los factores que afectarán el valor de la decisión y que probablemente fluctuarán durante los siguientes T periodos. Estos factores, incluyen la demanda, el precio, el tipo de cambio y la inflación, entre otros. Habiendo identificado los factores clave, se precisa identificar distribuciones de probabilidad que definen la fluctuación de cada factor desde un periodo hasta el siguiente. Si, por ejemplo, la demanda y el precio se identifican como los dos factores clave que afectan la decisión, debe definirse la probabilidad de cambiar de un valor dado de demanda y precio en un periodo, a cualquier otro valor de demanda y precio en el siguiente periodo.

Otro paso es identificar una tasa de descuento periódica k que se aplicará a flujos de efectivo futuros. No es esencial que se aplique la misma tasa de descuento a cada periodo o incluso en cada nodo en un periodo. La tasa de descuento debe tener en cuenta el riesgo inherente asociado con la inversión. En general, una tasa de descuento alta debe aplicarse a inversiones de alto riesgo.

La decisión ahora se evalúa con un árbol de decisión, el cual contiene el periodo presente y los T periodos futuros. En cada periodo debe definirse un nodo para cada posible combinación de valores de factor (por ejemplo, demanda y precio) que pueden alcanzarse. Se trazan flechas de los nodos origen en el periodo i a los nodos terminales en el periodo $i + 1$. La probabilidad en una flecha se conoce como probabilidad de transición y es la probabilidad de pasar del nodo origen en el periodo i al nodo terminal en el periodo $i + 1$.

El árbol de decisión se evalúa partiendo de los nodos en el periodo T y regresando al periodo 0. Para cada nodo, la decisión se optimiza tomando en cuenta los valores actuales y futuros de varios factores. El análisis se basa en el *principio de Bellman*, el cual establece que con cualquier opción de estrategia en un estado dado, la estrategia óptima en el siguiente periodo es la seleccionada si se supone que todo el análisis comienza en el siguiente periodo. Este principio permite que la estrategia óptima se resuelva a la inversa comenzando en el último periodo. Los flujos de efectivo futuros esperados, se vuelven a descontar y se incluyen en la decisión actualmente considerada. El valor del nodo en el periodo 0 da el valor de la inversión así como las decisiones tomadas durante cada periodo. Están disponibles herramientas, como Treeplan, que ayudan a resolver árboles de decisión con hojas de cálculo.

La metodología de análisis de árboles de decisión se resume así:

1. Identificar la duración de cada periodo (mes, trimestre, etc.) y el número de periodos T durante los cuales debe evaluarse la decisión.
2. Identificar factores como demanda, precio y tipo de cambio cuya fluctuación se considerará a lo largo de los siguientes T periodos.
3. Identificar representaciones de incertidumbre para cada factor; es decir, determinar que distribución utilizar para modelar la incertidumbre.
4. Identificar la tasa de descuento periódica k para cada periodo.
5. Representar el árbol de decisión con estados definidos en cada periodo así como las probabilidades de transición entre estados en periodos sucesivos
6. Comenzando en el periodo T, regrese al periodo 0 e identifique la decisión óptima y los flujos de efectivo esperados en cada paso. Los flujos de efectivo esperados en cada estado en un periodo dado deben volverse a descontar cuando estén incluidos en el periodo previo.

Evaluación de la flexibilidad en Trips Logistics

Ilustramos la metodología de análisis de árbol de decisión con la decisión de arrendamiento que enfrenta el gerente general en Trips Logistics. El gerente debe decidir si arrendar espacio de almacén para los tres años venideros y la cantidad a arrendar. Actualmente el contrato de arrendamiento de largo plazo es más barato que la renta de espacio de almacén en el mercado al contado. El gerente prevé incertidumbre en la demanda y los precios al contado de espacio de almacén a lo largo de los tres años venideros. El contrato de largo plazo es más barato pero podría no utilizarse si la demanda es más baja que la prevista. El contrato de largo plazo también puede terminar siendo más caro si los precios del mercado al contado se reducen. Por el contrario, las rentas en el mercado al contado son altas y el espacio de almacén en el mercado al contado se encarecerán si la demanda futura es alta. El gerente está considerando tres opciones.

1. Conseguir todo el espacio de almacén en el mercado al contado como se requiera.
2. Firmar un contrato de arrendamiento de tres años por una cantidad fija de espacio de almacén y conseguir los requerimientos adicionales en el mercado al contado.
3. Firmar un contrato de arrendamiento flexible con un cobro mínimo que permita el uso variable del espacio de almacén hasta un límite con requerimientos adicionales en el mercado al contado.

A continuación analizamos cómo puede el gerente tomar la decisión apropiada, teniendo en cuenta la incertidumbre.

Se requieren mil pies cuadrados de espacio de almacén por cada 1,000 unidades de demanda, y la demanda actual en Trips Logistics es de 100,000 unidades al año. El gerente pronostica que la demanda de un año al siguiente puede incrementarse 20% con una probabilidad de 0.5 o reducirse 20% con una probabilidad de 0.5. Las probabilidades de los dos resultados son independientes y no cambian de un año al siguiente.

El gerente general puede firmar un contrato de arrendamiento de tres años a un precio de \$1 por pie^2 por año. El espacio de almacén en la actualidad está disponible en el mercado al contado a \$1.20 por pie^2 por año. De un año al siguiente, los precios al contado de espacio de almacén pueden incrementarse 10% con una probabilidad de 0.5 o reducirse 10% con una probabilidad de 0.5, de acuerdo con un proceso binomial. Las probabilidades de los dos resultados son independientes y no cambian de un año al siguiente.

El gerente general cree que los precios de espacio de almacén y la demanda del producto fluctúan de manera independiente. Cada unidad que Trips Logistics maneja produce un ingreso de \$1.22, y la empresa está comprometida a manejar toda la demanda que surja. Trips Logistics utiliza una tasa de descuento de $k = 0.1$ para cada uno de los tres años.

El gerente general supone que todos los costos se incurren a principio de cada año y por tanto construye una árbol de decisión con $T = 2$. El árbol de decisión se muestra en la figura 6-2, donde cada nodo representa la demanda (D) en miles de unidades y el precio (p) en dólares. La probabilidad de cada transición es 0.25 porque el precio y la demanda fluctúan de forma independiente.

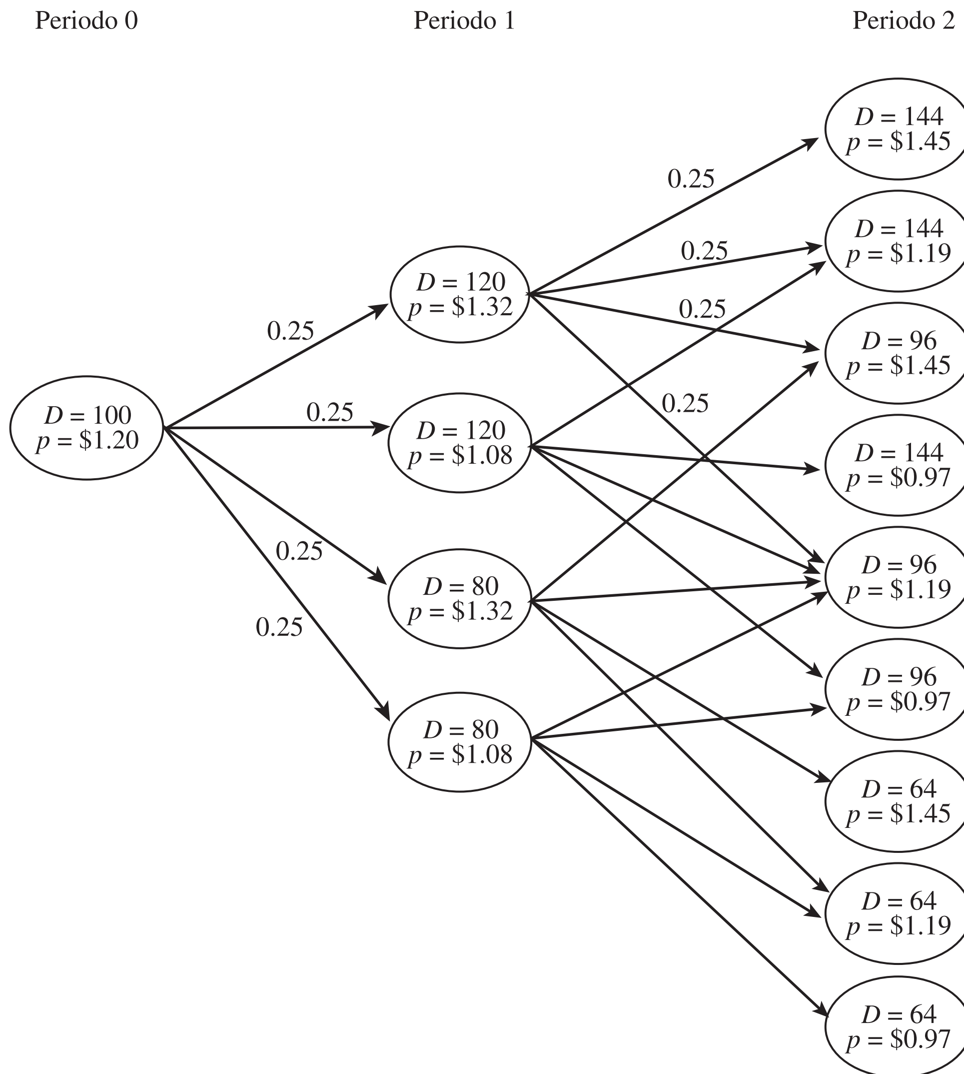


FIGURA 6-2 Árbol de decisión para Trips Logistics considerando la fluctuación de la demanda y el precio.

Evaluación de la opción del mercado al contado

El gerente analiza primero la opción de no firmar un contrato de arrendamiento y de obtener todo el espacio de almacén en el mercado al contado. Comienza con el periodo 2 y evalúa la utilidad de Trips Logistics en cada nodo. En el nodo $D = 144$, $p = \$1.45$, la empresa debe satisfacer una demanda de 144,000 y enfrenta un precio al contado de \$1.45 por pie^2 de espacio de almacén en el periodo 2. El costo incurrido por Trips Logistics en el periodo 2 en el nodo $D = 144$, $p = \$1.45$ está representado por $C(D = 144, p = 1.45)$ y dado por

$$C(D = 144, p = 1.45, 2) = 144{,}000 \times 1.45 = \$208{,}800$$

La utilidad en Trips Logistics en el periodo 2 en el nodo $D = 144$, $p = \$1.45$ está representado por $P(D = 144, p = 1.45, 2)$ y dado por

$$P(D = 144, p = \$1.45, 2) = 144{,}000 \times 1.22 - C(D = 144, p = 1.45, 2)$$
$$= 175{,}680 - 208{,}000 = \$33{,}120$$

Tabla 6-5 Cálculos en el periodo 2 para la opción de mercado al contado

	Ingreso	Costo $C(D =, p =, 2)$	Utilidad $P(D =, p =, 2)$
$D = 144, p = 1.45$	$144{,}000 \times 1.22$	$144{,}000 \times 1.45$	−$33,120
$D = 144, p = 1.19$	$144{,}000 \times 1.22$	$144{,}000 \times 1.19$	$4,320
$D = 144, p = 0.97$	$144{,}000 \times 1.22$	$144{,}000 \times 0.97$	$36,000
$D = 96, p = 1.45$	$96{,}000 \times 1.22$	$96{,}000 \times 1.45$	−$22,080
$D = 96, p = 1.19$	$96{,}000 \times 1.22$	$96{,}000 \times 1.19$	$2,880
$D = 96, p = 0.97$	$96{,}000 \times 1.22$	$96{,}000 \times 0.97$	$24,000
$D = 64, p = 1.45$	$64{,}000 \times 1.22$	$64{,}000 \times 1.45$	−$14,720
$D = 64, p = 1.19$	$64{,}000 \times 1.22$	$64{,}000 \times 1.19$	$1,920
$D = 64, p = 0.97$	$64{,}000 \times 1.22$	$64{,}000 \times 0.97$	$16,000

La utilidad para Trips Logistics en cada uno de los demás nodos en el periodo 2 se evalúa del mismo modo como se muestra en la tabla 6-5.

A continuación el gerente evalúa la utilidad esperada en cada nodo en el periodo 1 como la utilidad durante el periodo 1 más el valor presente (en el periodo 1) de la utilidad esperada en el periodo 2. La utilidad esperada $EP(D =, p =, 1)$ en un nodo es la utilidad esperada en los cuatro nodos en el periodo 2 que puede resultar de este nodo. $PVEP(D =, p =, 1)$ representa el valor presente de esta utilidad esperada; $P(D =, p = 1)$, la utilidad total esperada, es la suma de la utilidad en el periodo 1 y el valor presente de la utilidad esperada en el periodo 2. Por el nodo $D = 120$, $p = \$1.32$ en el periodo 1, hay cuatro estados posibles en el periodo 2. El gerente evalúa por tanto la utilidad esperada en el periodo 2 durante los cuatro estados posibles del nodo $D = 120$, $p = \$1.32$ en el periodo 1 como $EP(D = 120, p = 1.32, 1)$,
donde

$$EP(D = 120, p = 1.32,1) = 0.25 \times [P(D = 144, p = 1.45,2) + P(D = 144, p = 1.19,2) + P(D = 96, p = 1.45,2) + P(D = 96, p = 1.19,2)] = 0.25 \times [-33{,}120 + 4{,}320 - 22{,}080 + 2{,}880] = -\$12{,}000$$

El valor presente de este valor esperado en el periodo 1 está dado por

$$PVEP(D = 120, p = 1.32,1) = EP(D = 120, p = 1.32,1)/(1 + k) = -12{,}000/1.1 = -\$10{,}909$$

El gerente obtiene la utilidad esperada total $P(D = 120, p = 1.32, 1)$ en el nodo $D = 120$, $p = 1.32$ en el periodo 1 como la suma de la utilidad en el periodo 1 en este nodo y el valor presente de utilidades futuras esperadas.

$$P(D = 120, p = 1.32,1) = 120{,}000 \times 1.22 - 120{,}000 \times 1.32 + PVEP(D = 120, p = 1.32,1) = -\$12{,}000 - \$10{,}909 = -\$22{,}909$$

La utilidad esperada total en todos los demás nodos en el periodo 1 se evalúa como se muestra en la tabla 6-6.

En el periodo 0, la utilidad total $P(D = 100, p = 1.20, 0)$ es la suma de la utilidad en el periodo 0 y valor presente de la utilidad esperada en los cuatros nodos en el periodo 1.

$$EP(D = 100, p = 1.20,0) = 0.25 \times [P(D = 120, p\ 0\ 1.32, 1) + P(D = 120, p = 1.08, 1) + P(D = 80, p = 1.32, 1) + P(D = 80, p = 1.08, 1)] = 0.25 \times [-22{,}909 + 32{,}073 - 15{,}273 + 21{,}382] = \$3{,}818$$

Tabla 6-6 Cálculos en el periodo 1 para la opción de mercado al contado

Nodo	$EP(D =, p =, 1)$	$p(D =, p =, 1) = D \times 1.22 - D \times p + EP(D =, p =, 1)/(1 + k)$
$D = 120, p = 1.32$	−$12,000	−$22,909
$D = 120, p = 1.08$	$16,800	$32,073
$D = 80, p = 1.32$	−$8,000	−$15,273
$D = 80, p = 1.08$	$11,200	$21,382

$$PVEP\,(D = 100, p = 1.20,0) = EP\,(D = 100, p = 1.20,0)/(1 + k)$$
$$= 3{,}818/1.1 = \$3{,}471$$

$$P(D = 100,\ p = 1.20,0) = 100{,}000 \times 1.22 - 100{,}000 \times 1.20 + PVEP\,(D = 100,$$
$$p = 1.20,0) = \$2{,}000 + \$3{,}471 = \$5{,}471$$

Por consiguiente, el NPV esperado de no firmar el contrato de arrendamiento y obtener todo el espacio de almacén en el mercado al contado está dado por

NPV Nodo (Mercado spot) = $5,471

Evaluación de la opción de arrendamiento fijo

El gerente evalúa la alternativa en la que se firma un contrato de arrendamiento por 100,000 pies^2 de espacio de almacén. El procedimiento de evaluación es muy similar al del caso anterior, pero el resultado en términos de utilidad cambia. Por ejemplo, en el nodo $D = 144$, $p = 1.45$, el gerente requerirá 44,000 pies^2 de espacio de almacén del mercado al contado a $1.45 por pie^2 ya que sólo 100,000 pies^2 se arrendaron a $1 por pie^2. Si por casualidad la demanda es de menos de 100,000 unidades, Trips Logistics aún tiene que pagar todos los 100, 000 pies^2 de espacio arrendado. En el periodo 2, el gerente obtiene la utilidad en cada uno de los nueve nodos como se muestra en la tabla 6-7.

El gerente a continuación evalúa la utilidad total esperada en cada nodo en el periodo 1. Una vez más, la utilidad esperada $EP(D =, p = 1)$ en un nodo es la utilidad esperada de los cuatro nodos en el periodo 2

Tabla 6-7 Cálculos de las utilidades de Trips Logistics en el periodo 2 para la opción de contrato de arrendamiento fijo

Nodo	Espacio arrendado	Espacio de almacén a precio al contado (S)	Utilidad $P(D =, p =, 2) = D \times 1.22 - (100{,}000 \times 1 + S \times p)$
$D = 144, p = 1.45$	100,000 pies^2	44,000 pies^2	$11,880
$D = 144, p = 1.19$	100,000 pies^2	44,000 pies^2	$23,320
$D = 144, p = 0.97$	100,000 pies^2	44,000 pies^2	$33,000
$D = 96, p = 1.45$	100,000 pies^2	0 pies^2	$17,120
$D = 96, p = 1.19$	100,000 pies^2	0 pies^2	$17,120
$D = 96, p = 0.97$	100,000 pies^2	0 pies^2	$17,120
$D = 64, p = 1.45$	100,000 pies^2	0 pies^2	−$21,920
$D = 64, p = 1.19$	100,000 pies^2	0 pies^2	−$21,920
$D = 64, p = 0.97$	100,000 pies^2	0 pies^2	−$21,920

que pueden resultar de este nodo (vea la figura 6-2), y $P(D =, p =, 1)$ es la utilidad total esperada en ambos periodos 1 y 2. El gerente por consiguiente obtiene los resultados que aparecen en la tabla 6-8.

Tabla 6-8 Cálculos de las utilidades de Trips Logistics en el periodo 1 para la opción de contrato de arrendamiento fijo

Nodo	$EP(D =, p =, 1)$	Espacio de almacén a precio de contado (S)	$P(D =, p =, 1) = D \times 1.22 - (100{,}000 \times 1 + S \times p) + EP(D =, p =, 1)(1+ k)$
$D = 120, p = 1.32$	$0.25 \times [P(D = 144, p = 1.45, 2) + P(D = 144, p = 1.19, 2) + P(D = 96, p = 1.45, 2) + P(D = 96, p = 1.19, 2)] = 0.25 \times (11{,}880 + 23{,}320 + 17{,}120 + 17{,}120) = \$17{,}360$	20,000	$35,782
$D = 120, p = 1.08$	$0.25 \times [23{,}320 + 33{,}000 + 17{,}120 + 17{,}120] = \$22{,}640$	20,000	$45,382
$D = 80, p = 1.32$	$0.25 \times [17{,}120 + 17{,}120 - 21{,}920 - 21{,}920] = -\$2{,}400$	0	−$4,582
$D = 80, p = 1.08$	$0.25 \times [17{,}120 + 17{,}120 - 21{,}920 - 21{,}920] = -\$2{,}400$	0	−$4,582

En el periodo 0 la utilidad esperada $EP(D = 100, p = 1.20, 0)$ en los cuatro nodos en el periodo 1 está dada por

$$EP\,1D = 100,\ p = 1.20,02 = 0.25 \times 3P1D = 120,\ p = 1.32,12 + P1D = 120, p = 1.08, 1)$$
$$+\ P1D = 96,\ p = 1.32,12 + P1D = 96,\ p = 1.08,124$$
$$= 0.25 \times [35{,}782 + 45{,}382 - 4{,}582 - 4{,}582] = \$18{,}000$$

El valor presente de la utilidad esperada en el periodo 0 está dada por

$$PVEP\,(D = 100,\ p = 1.20{,}0) = EP\,(D = 100,\ p = 1.20{,}0)/(1 + k)$$
$$= 18{,}000/1.1 = \$16{,}364$$

La utilidad esperada total se obtiene como la suma de la utilidad en el periodo 0 y el valor presente de la utilidad esperada en los cuatro nodos en el periodo 1. Es decir

$$P1D = 100,\ p = 1.20,02 = 100{,}000 \times 1.22 - 100{,}000 \times 1 + PVEP\,1D = 100,$$
$$p = 1.20,02 = \$22{,}000 + \$16{,}364 = \$38{,}364$$

El NPV de firmar un contrato de arrendamiento por tres años de 100,000 pies^2 de espacio de almacén es por consiguiente

NPV (Arrendamiento) = $38.364

Observamos que el NPV de la opción de arrendamiento en una situación de incertidumbre es considerablemente menor que cuando se ignora la incertidumbre ($60,182 del ejemplo 6-1). Esto se debe a que el arrendamiento es una decisión fija, y Trips Logistics no es capaz de reaccionar ante las condiciones de mercado arrendando menos espacio si la demanda es menor. Los contratos rígidos son menos atractivos en la presencia de incertidumbre.

La presencia de incertidumbre en la demanda y el precio reduce el valor del arrendamiento pero no afecta la opción del mercado al contado. El gerente, sin embargo, aún prefiere firmar el arrendamiento por tres años de 100,000 pies^2 porque esta opción ofrece la utilidad esperada más alta.

Punto clave

La incertidumbre en la demanda y en los factores económicos debe incluirse en la evaluación financiera de las decisiones de cadena de suministro. La inclusión de la incertidumbre en general reduce el valor de la rigidez e incrementa el valor de la flexibilidad.

Evaluación de la opción de arrendamiento flexible

La metodología de análisis del árbol de decisión es útil cuando se evalúa la flexibilidad en una cadena de suministro. Consideramos ahora la evaluación de la flexibilidad con árboles de decisión en el contexto de opciones de almacenamiento para Trips Logistics.

Al gerente de Trips Logistics le ofrecieron un contrato en el que por un pago adelantado de $10,000, la empresa tendrá la flexibilidad de utilizar entre 60,000 pies^2 y 100,000 pies^2 de espacio de almacén a $1/pie^2 por año. Trips Logistics debe pagar $60,000 por año por los primeros 60,000 pies^2 y luego puede emplear los 40,000 pies^2 restantes según la demanda a $1 por pie^2. El gerente general decide utilizar árboles de decisión para evaluar si este contrato flexible es preferible a un contrato fijo por 100,000 pies^2.

El árbol de decisión subyacente para evaluar el contrato flexible es como el de la figura 6-2. La utilidad en cada nodo, sin embargo, cambia debido a la flexibilidad del espacio utilizado. Si la demanda es de más de 100,000 unidades, Trips Logistics utiliza los 100,000 pies^2 de espacio de almacén incluso bajo el contrato flexible. Si la demanda es de entre 60,000 y 100,000 unidades, Trips Logistics paga sólo por la cantidad exacta de espacio de almacén utilizado en vez de los 100,000 pies^2 bajo el contrato sin flexibilidad. La utilidad en todos los nodos donde la demanda es de 100,000 o más permanece como en el tabla 6-7. La utilidad en el periodo 2 en todos los nodos donde la demanda es de menos de 100,000 unidades se incrementa como se muestra en la tabla 6-9.

El gerente general evalúa la utilidad esperada $EP(D =, p =, 1)$ del periodo 2 y la utilidad total esperada en cada nodo del periodo 1 como ya antes se analizó. Los resultados se muestran en la tabla 6-10.

La utilidad total esperada en el periodo 0 es la suma de la utilidad en el periodo 0 y el valor presente de la utilidad esperada en el periodo 1. El gerente por tanto obtiene

$$\begin{aligned} EP(D = 100, p = 1.20,0) = 0.25 \times [&P(D = 120, p = 1.32,1) + P(D = 120, p = 1.08,1) \\ &+ P(D = 96, p = 1.32,1) + P(D = 96, p = 1.08,1)] = 0.25 \\ &\times [37{,}600 + 47{,}200 + 33{,}600 + 33{,}600] = \$38{,}000 \end{aligned}$$

Tabla 6-9 Cálculos de las utilidades de Trips Logistics en el periodo 2 con una contrato de arrendamiento flexible

Nodo	Espacio de almacén a $1 ($W$)	Espacio de almacén a precio de contado (S)	Utilidad $P(D =, p =, 2) = D \times 1.22 - (W \times 1 + S \times p)$
$D = 144, p = 1.45$	100,000 pies^2	44,000 pies^2	$11,880
$D = 144, p = 1.19$	100,000 pies^2	44,000 pies^2	$23,320
$D = 144, p = 0.97$	100,000 pies^2	44,000 pies^2	$33,000
$D = 96, p = 1.45$	96,000 pies^2	0 pies^2	$21,120
$D = 96, p = 1.19$	96,000 pies^2	0 pies^2	$21,120
$D = 96, p = 0.97$	96,000 pies^2	0 pies^2	$21,120
$D = 64, p = 1.45$	64,000 pies^2	0 pies^2	$14,080
$D = 64, p = 1.19$	64,000 pies^2.	0 pies^2	$14,080
$D = 64, p = 0.97$	64,000 pies^2	0 pies^2	$14,080

Tabla 6-10 Cálculos de las utilidades de Trips Logistics en el periodo 1 con un contrato de arrendamiento flexible

Nodo	***EP*(*D*=, *p* =, 1)**	**Espacio de almacén a $1 (*W*)**	**Espacio de almacén a precio de contado (*S*)**	***P*(*D* =, *p* =, 1) = *D* × 1.22 − (*W* × 1 + *S* × *p*) + *EP*(*D* =, *p* =, 1) (1 + *k*)**
$D = 120$, $p = 1.32$	0.25 × [11,880 + 23,320 + 21,120 + 21,120] = $19,360	100,000	20,000	$37,600
$D = 120$, $p = 1.08$	0.25 × [23,320 + 33,000 + 21,120 + 21,120] = $24,640	100,000	20,000	$47,200
$D = 80$, $p = 1.32$	0.25 × [21,120 + 21,120 + 14,080 + 14,080] = $17,600	80,000	0	$33,600
$D = 80$, $p = 1.08$	0.25 × [21,120 + 21,120 + 14,080 + 14,200] = $17,600	80,000	0	$33,600

Tabla 6-11 Comparación de diferentes opciones de arrendamiento de Trips Logistics

Opción	**Valor**
Todo el espacio de almacén del mercado al contado	$5,471
Arrendamiento de 100,000 pies² por tres años	$38,364
Arrendamiento flexible para utilizar entre 60,000 y 100,000 pies²	$46,545

$$PVEP\,(D = 100, p = 1.20, 1) = EP\,(D = 100, p = 1.20, 0)/(1 + k)$$
$$= 38{,}000\,/1.1 = \$34{,}545$$

$$P(D = 100, p = 1.20, 0) = 100{,}000 \times 1.22 - 100{,}000 \times 1 + PVEP\,(D = 100,$$
$$p = 1.20, 0) = \$22{,}000 + \$34{,}545 = \$56{,}545$$

Con un pago por adelantado de $10,000, la utilidad neta esperada es de $46,545 bajo el contrato de arrendamiento flexible. El valor de la flexibilidad se obtiene como la diferencia entre los valores presentes esperados de los dos contratos. Tomando en cuenta la incertidumbre, el gerente de Trips Logistics valora las tres opciones como se muestra en la tabla 6-11.

Por consiguiente, el contrato flexible es benéfico para Trips Logistics porque es $8,181 más valioso que el contrato rígido por tres años.

6.6 LOCALIZACIÓN INTERNA (*ONSHORE*) Y LOCALIZACIÓN EXTERNA (*OFFSHORE*): EVALUACIÓN DE DECISIONES DEL DISEÑO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO GLOBAL BAJO INCERTIDUMBRE

En esta sección analizamos una decisión de diseño de cadena de suministro en D-Solar, un fabricante alemán de paneles solares, para ilustrar el poder de la metodología de análisis del árbol de decisión en el diseño redes de cadena de suministro globales teniendo en cuenta la incertidumbre. D-Solar enfrenta la decisión de ubicar una planta en una red global con tipos de cambio fluctuantes e incertidumbre en la demanda.

Punto clave

La flexibilidad debe evaluarse tomando en cuenta la incertidumbre en la demanda y factores económicos. En general, el valor de la flexibilidad se incrementa con un incremento de la incertidumbre.

Tabla 6-12 Costos de producción fijos y variables de D-Solar

Planta europea		Planta china	
Costo fijo (euros)	**Costo variable (euros)**	**Costo fijo (yuanes)**	**Costo variable (yuanes)**
1 millón/año	40/panel	8 millones/año	340/panel

D-Solar vende sus productos principalmente en Europa. La demanda en el mercado europeo en la actualidad es de 100,000 paneles por año y cada panel se vende a €70. A pesar de que se espera que la demanda de paneles crezca, existen algunos riesgos de caída si la economía se desliza. De un año al siguiente, la demanda puede incrementarse 20% con probabilidad de 0.8 o reducirse 20% con probabilidad de 0.2.

D-Solar tiene que decidir si construir una planta en Europa o en China. En cualquier caso, D-Solar planea construir una planta con capacidad nominal de 120,000 paneles. Los costos fijos y variables de las dos plantas se muestran en la tabla 16-2. Observemos que los costos fijos se dan por año y no como una inversión única. La planta europea es más cara pero también tendrá una mayor flexibilidad de volumen. La planta será capaz de incrementar o reducir la producción a cualquier cantidad dentro del rango de 60,000 a 150,000 paneles mientras mantiene su costo variable. En contraste, la planta en China es más barata (al tipo de cambio actual de 9 yuanes/euro), pero tendrá una flexibilidad de volumen limitada y puede producir sólo entre 100,000 y 130,000 paneles. Si se construye la planta en China, D-Solar tendrá que incurrir en un costo variable de 100,000 paneles aun cuando la demanda se reduzca por debajo de ese nivel y perderá ventas si la demanda se incrementa por encima de 130,000 paneles. Los tipos de cambios son volátiles y se espera que cada año el yuan suba 10% con una probabilidad de 0.7 o que se reduzca 10% con una probabilidad de 0.3. Suponemos que la decisión de aprovisionamiento estará en vigor durante los tres años siguientes y la tasa de descuento utilizada por D-Solar es $k = 0.1$. Se supone que todos los costos e ingresos se acumulan al principio del año, lo que nos permite considerar el primer año como periodo 0 y los dos años siguientes como periodos 1 y 2.

Evaluación de las opciones utilizando flujos de efectivos descontados (DCF), y la demanda y el tipo de cambios esperados

Un método simple de uso frecuente es considerar el movimiento esperado de la demanda y los tipos de cambio en periodos futuros cuando se evalúan los flujos de efectivo descontados. La debilidad de este método es que promedia las tendencias mientras que ignora la incertidumbre. Comenzamos considerando este método para las opciones de localización interna (*onshoring*) y localización externa (*offshoring*). En promedio, se espera que la demanda se incremente 12% ($20 \times 0.8 - 20 \times 0.2 = 12$), mientras que se espera que el yuan se fortalezca 4% ($10 \times 0.7 - 10 \times 0.3 = 4$) cada año. En este caso, la demanda y los tipos de cambios esperados en los dos periodos futuros se muestran en la tabla 6-13.

Ahora evaluamos los flujos de efectivo descontados para ambas opciones suponiendo el cambio promedio esperado de la demanda y los tipos de cambio en los dos siguientes periodos.

Para la opción de localización interna, tenemos lo siguiente:

$$\text{Utilidades en el periodo 0} = 100{,}000 \times 70 - 1{,}000{,}000 - 100{,}000 \times 40 = €2{,}000{,}000$$

$$\text{Utilidades en el periodo 1} = 112{,}000 \times 70 - 1{,}000{,}000 - 112{,}000 \times 40 = €2{,}360{,}000$$

$$\text{Utilidades en el periodo 2} = 125{,}440 \times 70 - 1{,}000{,}000 - 125{,}440 \times 40 = €2{,}763{,}200$$

Tabla 6-13 Demanda y tipo de cambio futuros esperados

Periodo 1		Periodo 2	
Demanda	**Tipo de cambio**	**Demanda**	**Tipo de cambio**
112,000	8.64 yuanes/euro	125,440	8.2944 yuanes/euro

Por tanto, el DCF para la opción de localización interna se obtiene como sigue:

$$\text{Utilidad esperada de la localización interna} = 2{,}000{,}000 + 2{,}360{,}000/1.1 + 2{,}763{,}200/1.21 = €6{,}429{,}091$$

Para la opción de localización externa tenemos lo siguiente:

$$\text{Utilidades en el periodo 0} = 100{,}000 \times 70 - 8{,}000{,}000/9 - 100{,}000 \times 340/9 = €2{,}333{,}333$$

$$\text{Utilidades en el periodo 1} = 112{,}000 \times 70 - 8{,}000{,}000/8.64 - 112{,}000 \times 340/8.64 = €2{,}506{,}667$$

$$\text{Utilidades en el periodo 2} = 125{,}440 \times 70 - 8{,}000{,}000/7.9524 - 125{,}440 \times 340/7.9524 = €2{,}674{,}319$$

Por tanto, el DCF para la opción de localización externa se obtiene como sigue:

$$\text{Utilidad esperada de la localización externa} = 2{,}333{,}333 + 2{,}506{,}667/1.1 + 2{,}674{,}319/1.21 = €6{,}822{,}302$$

Basados en la realización de un análisis simple de DCF y suponiendo la tendencia esperada de la demanda y tipos de cambio durante los dos siguientes periodos, parece que debe preferirse la localización externa a la interna ya que se espera que proporcione utilidades adicionales de casi €393,000. El problema con el análisis anterior es que se tiene que ignorar la incertidumbre. Por ejemplo, aun cuando se espera que la demanda crezca, hay alguna probabilidad de que decrecerá. Si la demanda se reduce por debajo de 100,000 paneles, la opción de localización externa podría terminar costando más por la falta de flexibilidad. Asimismo, si la demanda se incrementa más de lo esperado (crece 20% en cada uno de los dos años), la instalación localizada externamente no será capaz de estar a la par del crecimiento. Un análisis preciso debe reflejar las incertidumbres e idealmente debe realizarse con un árbol de decisión.

Evaluación de las opciones utilizando árboles de decisión

Para este análisis construimos un árbol de decisión como se muestra en la figura 6.3, donde también aparecen los vínculos detallados y las probabilidades de transición. Cada nodo en un periodo dado conduce a cuatro posibles nodos en el siguiente periodo porque la demanda y el tipo de cambio pueden subir o bajar. La demanda está en miles y está representada por D. El tipo de cambio está representado por E, donde E es el número de yuanes por euro. Por ejemplo, comenzando con el nodo $D = 100$, $E = 9.00$ en el periodo 0, podemos pasar a cualquiera de los cuatro nodos en el periodo 1. La transición al nodo $D = 120$, $E = 9.90$ en el periodo 1 ocurre si la demanda se incrementa (probabilidad de 0.8) y el yuan se debilita (probabilidad de 0.3). Por tanto, la transición del nodo $D = 100$, $E = 9.00$ en el periodo 0 al nodo $D = 120$, $E = 9.90$ en el periodo 1 ocurre con una probabilidad de $0.8 \times 0.3 = 0.24$. Todas las demás probabilidades de transición que aparecen en la figura 6-3 se calculan del mismo modo. La ventaja principal de utilizar un árbol de decisión es que permite la evaluación verdadera de utilidades en cada escenario en que pueda encontrarse D-Solar.

Evaluación de la opción de localización interna

Recordemos que la esta opción es flexible y puede cambiar los niveles de producción (y por tanto los costos variables) para igualar los niveles de demanda entre 60,000 y 150,000. En el siguiente análisis calculamos las utilidades esperadas en cada nodo en el árbol de decisión (representadas por los valores correspondientes de D y E) comenzando en el periodo 2 y volviendo al presente (periodo 0). Con la opción de localización interna, los tipos de cambio no afectan las utilidades en euros porque tanto el ingreso como los costos están en esa moneda.

EVALUACIÓN EN EL PERIODO 2. Proporcionamos un análisis detallado del nodo $D = 144$ (demanda de 144,000 paneles solares), $E = 10.89$ (tipo de cambio de 10.89 yuanes por euro). Dada su flexibilidad,

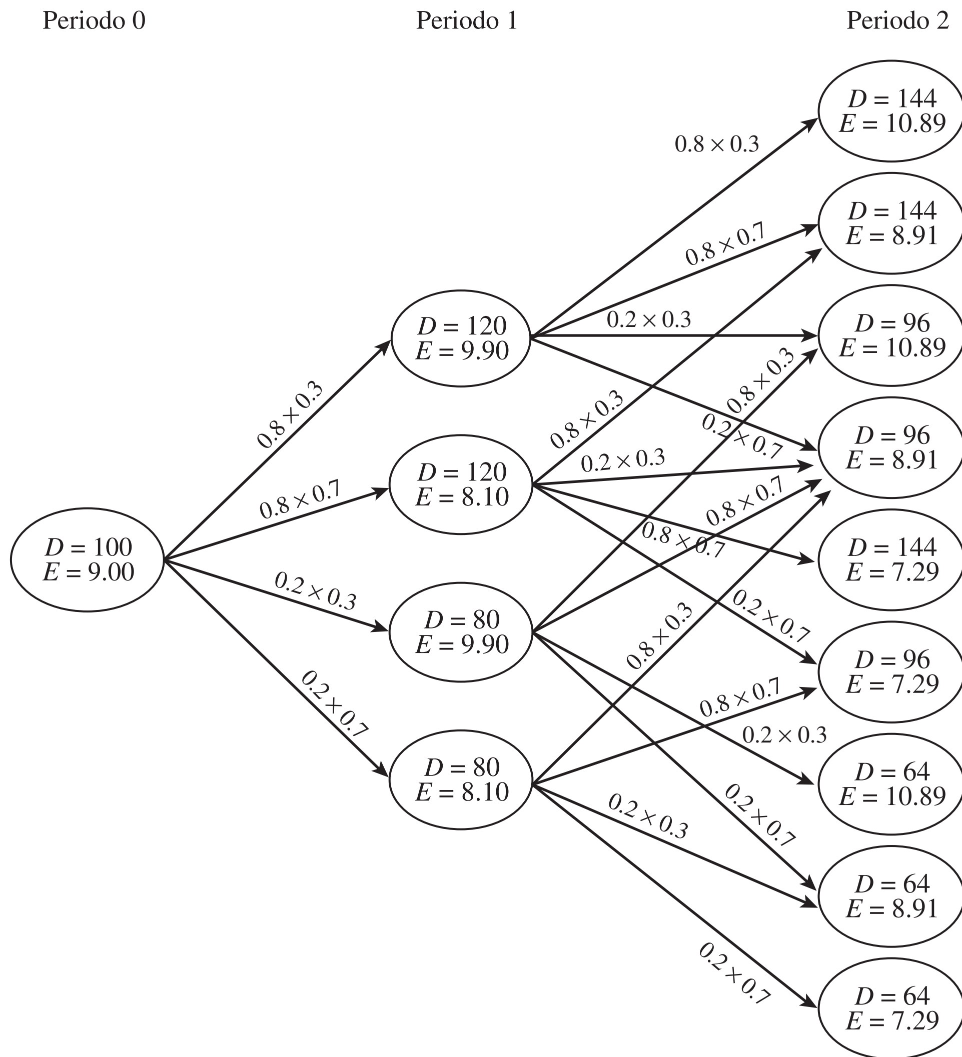


FIGURA 6-3 Árbol de decisión para D-Solar.

la instalación localizada internamente es capaz de producir toda la demanda de 144,000 paneles a un costo variable de €40 y vende cada panel a €70. Los ingresos y costos se evalúan como sigue:

$$\text{Ingreso por la fabricación y venta de 144,000 paneles} = 144{,}000 \times 70 = €10{,}080{,}000$$

$$\text{Costo fijo} + \text{variable de la planta localizada internamente} = 1{,}000{,}000 + 144{,}000 \times 40 = €6{,}700{,}000$$

En el periodo 2 la utilidad total de D-Solar en el nodo $D = 144$, $E = 10.89$ para la opción de localización interna está dada por

$$P(D = 144, E = 10.89, 2) = 10{,}080{,}000 - 6{,}760{,}000 = €3{,}320{,}000$$

Utilizando el mismo método podemos evaluar la utilidad en cada uno de los nueve estados (representados por el valor correspondiente de D y E) en el periodo 2 como se muestra en la tabla 6-14.

Tabla 6-14 Utilidades en el periodo 2 para la opción de localización interna

D	*E*	Ventas	Cantidad del costo de producción	Ingreso (euros)	Costo (euros)	Utilidad (euros)
144	10.89	144,000	144,000	10,080,000	6,760,000	3,320,000
144	8.91	144,000	144,000	10,080,000	6,760,000	3,320,000
96	10.89	96,000	96,000	6,720,000	4,840,000	1,880,000
96	8.91	96,000	96,000	6,720,000	4,840,000	1,880,000
144	7.29	144,000	144,000	10,080,000	6,760,000	3,320,000
96	7.29	96,000	96,000	6,720,000	4,840,000	1,880,000
64	10.89	64,000	64,000	4,480,000	3,560,000	920,000
64	8.91	64,000	64,000	4,480,000	3,560,000	920,000
64	7.29	64,000	64,000	4,480,000	3,560,000	920,000

EVALUACIÓN EN EL PERIODO 1. Este periodo contiene cuatro nodos de resultados a analizar. Aquí se presenta un análisis detallado de uno de los nodos, $D = 120$, $E = 9.90$. Además del ingreso y costo en este nodo, también tenemos que considerar el valor presente de la utilidad esperada en el periodo 2 de los cuatro nodos que pueden resultar. La probabilidad de transición en cada uno de los cuatro nodos es como se muestra en la figura 6-3. La utilidad esperada en el periodo 2 con los cuatro resultados potenciales provenientes del nodo $D = 120$, $E = 9.90$ está, por tanto, dada por

$$EP(D=120, E=9.90, 1) = 0.24 \times P(D=144, E=10.89, 2) + 0.56 \times P(D=144, E=8.91, 2) + 0.06 \times P(D=96, E=10.89, 2) + 0.14 \times P(D=96, E=8.91, 2) = 0.24 \times 3{,}320{,}000 + 0.56 \times 3{,}320{,}000 + 0.06 \times 1{,}880{,}000 + 0.14 \times 1{,}880{,}000 = €3{,}032{,}000$$

El valor presente de la utilidad esperada en el periodo 2 descontado al periodo 1 está dado por

$$PVEP(D = 120, E = 9.90, 1) = EP(D = 120, E = 9.90, 1)/(1 + k) = 3{,}032{,}000/1.1 = €2{,}756{,}364$$

A continuación evaluamos las utilidades en la planta localizada internamente en el nodo $D = 120$, $E = 9.90$ derivadas de sus operaciones en el periodo 1, en el cual la planta produce 120,000 paneles a un costo variable de €40 y obtiene una ingreso de €70 por panel. Los ingresos y costos se evalúan como sigue:

$$\text{Ingreso por la fabricación y venta de 120,000 paneles} = 120{,}000 \times 70 = €8{,}400{,}000$$

$$\text{Costo fijo + costo variable de la planta localizada internamente} = 1{,}000{,}000 + 120{,}000 \times 40 = €5{,}800{,}000$$

La utilidad esperada por D-Solar en el nodo $D = 120$, $E = 9.90$ se obtiene sumando las utilidades de operación en este nodo en el periodo 1 y las utilidades esperadas descontadas de los cuatro nodos que pueden resultar en el periodo 2. La utilidad esperada en este nodo en el periodo 1 está dada por

$$P(D = 120, E = 9.90, 1) = 8{,}400{,}000 - 5{,}800{,}000 + PVEP(D = 120, E = 9.90, 1) = 2{,}600{,}000 + 2{,}756{,}364 = €5{,}356{,}364$$

Las utilidades esperadas en todos los nodos en el periodo 1 se calculan del mismo modo y se muestran en la tabla 6-15.

Tabla 6-15 Utilidades en el periodo 1 con la opción de localización interna

D	*E*	Ventas	Cantidad para costo de producción	Ingreso (euros)	Costo (euros)	Utilidad esperada (euros)
120	9.90	120,000	120,000	8,400,000	5,800,000	5,356,364
120	8.10	120,000	120,000	8,400,000	5,800,000	5,356,364
80	9.90	80,000	80,000	5,600,000	4,200,000	2,934,545
80	8.10	80,000	80,000	5,600,000	4,200,000	2,934,545

EVALUACIÓN EN EL PERIODO 0. En este periodo la demanda y el tipo de cambio son $D = 100$ y $E = 9$. Además del ingreso y el costo en este nodo, también necesitamos considerar la utilidad esperada descontada de los cuatro nodos en el periodo 1. La utilidad esperada está dada por

$$EP(D = 100, E = 9.00, 0) = 0.24 \times P(D = 120, E = 9.90, 1) + 0.56 \times P(D = 120, E = 8.10, 1)$$
$$+ 0.06 \times P(D = 80, E = 9.90, 1) + 0.14$$
$$\times P(D = 80, E = 8.10, 1) = 0.24 \times 5{,}356{,}364 + 0.56$$
$$\times 5{,}5356{,}364 + 0.06 \times 2{,}934{,}545 + 0.14 \times 2{,}934{,}545 = € \, 4{,}872{,}000$$

El valor presente de la utilidad esperada en el periodo 1 descontada en el periodo 0 está dada por

$$PVEP(D = 100, E = 9.00, 0) = EP(D = 100, E = 9.00, 0)/(1 + k)$$
$$= 4{,}872{,}000/1.1 = €4{,}429{,}091$$

A continuación evaluamos las utilidades de las operaciones de la planta localizada internamente en el periodo 0 provenientes de la fabricación y venta de 100,000 paneles.

$$\text{Ingreso por la fabricación y venta de 100,000 paneles}$$
$$= 100{,}000 \times 70 = €7{,}000{,}000$$

$$\text{Costo fijo} + \text{costo variable de la planta localizada internamente} = 1{,}000{,}000 \; 1 \; 100{,}000 \times 40$$
$$= €5{,}000{,}000$$

La utilidad esperada por D-Solar en el nodo $D = 100$, $E = 9.00$ en el periodo 0 está dada por

$$P(D = 100, E = 9.00, 0) = 7{,}000{,}000 - 5{,}000{,}000 + PVEP(D = 100, E = 9.00{,}0)$$
$$= 2{,}000{,}000 + 4{,}429{,}091 = €6{,}429{,}091$$

Por consiguiente, la construcción de una planta localizada internamente tiene una utilidad esperada de €6,429,091 durante el periodo de evaluación. Este número tiene en cuenta las incertidumbres en la demanda y tipos de cambio y la capacidad de la planta de reaccionar ante estas fluctuaciones.

Evaluación de la opción de localización externa

Al igual que con la opción de localización interna, comenzamos evaluando las utilidades en cada nodo en el periodo 2 y luego volvemos a evaluar los periodos 1 y 0. Cada nodo está representado por los valores correspondientes de *D* y *E*. Recordemos que la opción de localización externa no es totalmente flexible y puede cambiar los niveles de producción (y por tanto los costos variables) sólo entre 100,000 y 130,000 paneles. Por consiguiente, si la demanda se reduce por debajo de 100,000 paneles, D-Solar sigue incurriendo en el costo de producción variable de 100,000 paneles. Si la demanda se incrementa por encima de 130,000 paneles, la planta localizada externamente puede satisfacer la demanda de sólo hasta 130,000 paneles. En cada nodo, dada la demanda, calculamos las utilidades esperadas teniendo en cuenta el tipo de cambio que influye en los costos evaluados en euros.

EVALUACIÓN EN EL PERIODO 2 El análisis detallado del nodo D = 144 (demanda de 144,000 paneles solares), E = 10.89 (tipo de cambio 10.89 yuanes por euro) es como sigue. Aun cuando la demanda es de 144,000 paneles, dada su falta de flexibilidad de volumen, la planta localizada externamente produce sólo 130,000 paneles a un costo variable de 340 yuanes y vende cada panel a €70.

Costos e ingreso se evalúan como sigue:

$$\text{Ingreso por la fabricación y venta de 130,000 paneles} = 130{,}000 \times 70 = €9{,}100{,}000$$

$$\text{Costo fijo} + \text{costo variable de la planta externamente localizada} = 8{,}000{,}000 + 130{,}000 \times 340 = 52{,}000{,}000 \text{ yuanes}$$

La utilidad total de D-Solar en el nodo D = 144, E = 10.89 para la opción de localización externa (evaluada en euros), es dada, por tanto, por

$$P(D = 144, E = 10.89, 2) = 9{,}100{,}000 - (52{,}200.00/10.89) = €4{,}306{,}612$$

Siguiendo el mismo método, podemos evaluar la utilidad en cada uno de los nueve estados (representada por los valores correspondientes de D y E) en el periodo 2 como se muestra en la tabla 6-16. Observemos que la falta de flexibilidad en la planta localizada externamente perjudica a D-Solar siempre que la demanda es de más de 130,000 paneles (margen perdido) o de menos de 100,000 (costos más altos). Por ejemplo, cuando la demanda se reduce a 64,000 paneles, la planta localizad externamente continúa incurriendo en costos de producción variables de 100,000 paneles. Las utilidades también se ven afectadas cuando el yuan se fortalece más de lo esperado.

EVALUACIÓN EN EL PERIODO 1 En este periodo hay cuatro nodos que deben analizarse. Como con la opción de localización interna, aquí se presenta un análisis detallado de los nodos D = 120, E = 9.90. Además del ingreso y el costo producidos por las operaciones en este nodo, también necesitamos considerar el valor presente de la utilidad esperada en el periodo 2 que puede resultar de los cuatro nodos. La probabilidad de transición en cada uno de los cuatro nodos es como se muestra en la figura 6-3. La utilidad esperada en el periodo 2 del nodo D = 120, E = 9.90 es, por tanto, dada por

$$\begin{aligned} EP(D=120, E=9.90, 1) &= 0.24 \times P(D=144, E=10.89, 2) + 0.56 \times P(D=144, E=8.91, 2) \\ &+ 0.06 \times P(D=96, E=10.89, 2) + 0.14 \\ &\times P(D=96, E=8.91, 2) = 0.24 \times 4{,}306{,}612 + 0.56 \\ &\times 3{,}241{,}414 + 0.06 \times 2{,}863{,}251 + 0.14 \times 2{,}006{,}195 = €3{,}301{,}441 \end{aligned}$$

Tabla 6-16 Utilidades en el periodo 2 con la opción de localización externa

D	*E*	Ventas	Cantidad para el costo de producción	Ingreso (euros)	Costo (yuanes)	Utilidad (euros)
144	10.89	130,000	130,000	9,100,000	52,200,000	4,306,612
144	8.91	130,000	130,000	9,100,000	52,200,000	3,241,414
96	10.89	96,000	100,000	6,720,000	42,000,000	2,863,251
96	8.91	96,000	100,000	6,720,000	42,000,000	2,006,195
144	7.29	130,000	130,000	9,100,000	52,200,000	1,939,506
96	7.29	96,000	100,000	6,720,000	42,000,000	958,683
64	10.89	64,000	100,000	4,480,000	42,000,000	623,251
64	8.91	64,000	100,000	4,480,000	42,000,000	–233,805
64	7.29	64,000	100,000	4,480,000	3,560,000	–1,281,317

El valor presente de la utilidad esperada en el periodo 2 descontado al periodo 1 está dado por

$$PVEP(D = 120, E = 9.90, 1) = EP(D = 120, E = 9.90, 1)/(1 + k)$$
$$= 3{,}301{,}441/1.1 = €3{,}001{,}310$$

A continuación evaluamos las utilidades de la planta de localización externa en el nodo $D = 120$, $E = 9.90$ por sus operaciones en el periodo 1. La planta de localización externa produce 120,000 paneles a un costo variable de 340 yuanes y obtiene ingresos de €70 por panel. Los costos y los ingresos se evalúan como sigue:

$$\text{Ingreso de manufactura y venta de 120,000 paneles}$$
$$= 12{,}000 \times 70 = €8{,}400{,}000$$

$$\text{Costo fijo} + \text{variable de la planta de localización externa} = 8{,}000{,}000 + 120{,}000 \times 340$$
$$= 48{,}800{,}000 \text{ yuanes}$$

La utilidad esperada por D-Solar en el nodo $D = 120$, $E = 9.90$ en el periodo 1 está dada por

$$P(D = 120, E = 9.90, 1) = 8{,}400{,}000 - (48{,}800{,}00/9.90) + PVEP\,(D = 120, E = 9.90, 1)$$
$$= 3{,}470{,}707 + 3{,}001{,}310 = €6{,}472{,}017$$

Respecto de la opción de localización externa, las utilidades esperadas para todos los nodos en el periodo 1 se muestran en la tabla 6-17.

Observemos que para el nodo $D = 80$, $E = 10$, D-Solar tiene una utilidad esperada baja por parte de la opción de localización externa (tabla 6-17) con respecto a la opción de localización interna (tabla 6-15) porque la planta de localización externa incurre en un costo variable alto por su falta de flexibilidad (el costo en que se incurre es de 100,000 unidades, aun cuando sólo se vendieran 80,000), y todos los costos de la localización externa se vuelven caros dada la fortaleza del yuan.

EVALUACIÓN EN EL PERIODO 0. En este periodo la demanda y el tipo de cambio los dan $D = 100$, $E = 9$. En adición al ingreso y al costo en este nodo, también necesitamos considerar el valor presente de la utilidad esperada de los cuatro nodos del periodo 1. La utilidad esperada de la opción de localización externa está dada por

$$EP(D = 100, E = 9.00, 0) = 0.24 \times P(D = 120, E = 9.90, 1) + 0.56 \times P(D = 120, E = 8.10, 1)$$
$$+ 0.06 \times P(D = 80, E = 9.90, 1) + 0.14$$
$$\times P(D = 80, E = 8.10, 1) = 0.24 \times 6{,}472{,}017 + 0.56$$
$$\times 4{,}301{,}354 + 0.06 \times 3{,}007{,}859 + 0.14 \times 1{,}164{,}757 = €4{,}305{,}580$$

El valor presente de la utilidad esperada en el periodo 1 descontado al periodo 0 está dado por

$$PVEP(D = 100, E = 9.00, 0) = EP(D = 100, E = 9.00, 0)/(1 + k)$$
$$= 4{,}305{,}580/1.1 = €3{,}914{,}164$$

Tabla 6-17 Utilidades en el periodo 1 con la opción de ubicación externa

D	*E*	Ventas	Cantidad para el costo de producción	Ingreso (euros)	Costo (yuanes)	Utilidad esperada (euros)
120	9.90	120,000	120,000	8,400,000	48,800,000	6,472,017
120	8.10	120,000	120,000	8,400,000	48,800,000	4,301,354
80	9.90	80,000	100,000	5,600,000	42,000,000	3,007,859
80	8.10	80,000	100,000	5,600,000	42,000,000	1,164,757

A continuación evaluamos las utilidades derivadas de las operaciones de la planta localizada externamente en el periodo 0 por la fabricación y venta de 100,000 paneles.

$$\text{Ingreso por la fabricación y venta de 100,000 paneles} = 100{,}000 \times 70 = €7{,}000{,}000$$

$$\text{Costo fijo} + \text{costo variable de la planta localizada externamente} = 8{,}000{,}000 + 100{,}000 \times 340 = 42{,}000{,}000 \text{ yuanes}$$

La utilidad esperada por D-Solar en el nodo $D = 100$, $E = 9.00$ en el periodo 0 está dada por

$$P(D = 100,\ E = 9.00, 0) = 7{,}000{,}000 - (42{,}000{,}00/9.00) + PVEP(D = 100,\ E = 9.00,\ 0) = 2{,}333{,}333 + 3{,}914{,}164 = €6{,}247{,}497$$

Así pues, la construcción de la planta localizada externamente ofrece una utilidad esperada de €6,247,497 durante el periodo de evaluación.

Observemos que el uso de un árbol de decisión que tenga en cuenta la fluctuación tanto de la demanda como del tipo de cambio muestra que la opción de localización interna y su flexibilidad es de hecho más valiosa (vale €6,429,091) que la instalación localizada externamente (vale €6,247,497), la cual es menos flexible. Esto contrasta directamente con la decisión que habría resultado si simplemente hubiéramos utilizado el cambio esperado de la demanda y el tipo de cambio de un año al siguiente. Al utilizar el cambio esperado de la demanda, la opción de localización interna generó las utilidades esperadas de €6,429,091, mientras que la de localización externa generó utilidades esperadas de €6,822,302. La segunda opción se sobrevaloró en este caso porque las fluctuaciones potenciales de la demanda y tipo de cambio son más amplias que las fluctuaciones esperadas. Por tanto, el uso de la fluctuación esperada no tiene en cuenta en su totalidad la falta de flexibilidad de la planta localizada externamente y el gran incremento de los costos que puede resultar si el yuan se fortalece más que el valor esperado.

De Traville y Trigeorgis (2010) analizan la importancia de evaluar todas las decisiones de diseño de una cadena de suministro global con el árbol de decisión o una metodología de opciones reales. Dan el ejemplo de Flexcell, una compañía suiza que ofrecía paneles solares ligeros. En 2006 la compañía esperaba expandir sus operaciones con la construcción de una nueva planta. Los tres lugares considerados fueron China, Alemania Oriental y cerca de las oficinas principales de la compañía en Suiza. Aun cuando las plantas de China y Alemania Oriental eran más baratas que la planta en Suiza, la gerencia de Flexcell justificó la construcción de la planta suiza de alto costo debido a su mayor flexibilidad y capacidad de reacción ante condiciones de mercado cambiantes. Si se hubieran utilizado solamente los valores esperados de escenarios futuros, no podría justificarse la planta suiza más cara. Esta decisión le reditúo a la compañía ya que la planta suiza era lo bastante flexible para manejar la considerable variabilidad de la demanda a consecuencia de la recesión en 2008.

Cuando los árboles de decisión subyacentes son complejos y les es difícil obtener soluciones explícitas, las empresas deben utilizar la simulación para evaluar las decisiones (vea el capítulo 13). En un árbol de decisión complejo, miles o incluso millones de posibles trayectorias pueden surgir del primer periodo al último. Se utilizan probabilidades de transición para generar trayectorias aleatorias ponderadas en cuanto a probabilidad dentro del árbol de decisión. Para cada trayectoria se evalúan la decisión de etapa por etapa y el valor presente de la utilidad. Las trayectorias se generan de tal forma que la probabilidad de una trayectoria que se está generando durante la simulación sea la misma que la probabilidad de la trayectoria en el árbol de decisión. Después de generar muchas trayectorias y evaluar las utilidades en cada caso, las utilidades obtenidas durante la simulación se utilizan como una representación de las utilidades que resultarían del árbol de decisión. La utilidad esperada se determina entonces promediando las utilidades obtenidas en la simulación.

Los métodos de simulación son muy buenos para evaluar una decisión cuando la trayectoria misma no depende de una decisión; en otras palabras, cuando las probabilidades de transición de un periodo al siguiente no dependen de la decisión tomada durante un periodo. También pueden tomar en cuenta restricciones reales y reglas de decisión complejas. Además, pueden manejar con facilidad diferentes formas de incertidumbre aun cuando la incertidumbre esté correlacionada entre diferentes factores.

Los modelos de simulación requieren un costo de instalación más alto para iniciar y operar en comparación con las herramientas de árbol de decisión. Sin embargo, su ventaja principal es que pueden dar por resultado evaluaciones de alta calidad de situaciones complejas.

6.7 TOMA DE DECISIONES DEL DISEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO BAJO INCERTIDUMBRE EN LA PRÁCTICA

Los gerentes deben considerar las siguientes ideas para ayudarse a tomar mejores decisiones de diseño de redes bajo incertidumbre:

1. ***Combinar la planeación estratégica y la planeación financiera durante el diseño de la red global.*** En la mayoría de las organizaciones la planeación financiera y la planeación estratégica se realizan de manera independiente. La planeación estratégica trata de preparar para las incertidumbres futuras pero con frecuencia sin un análisis cuantitativo riguroso, mientras que la planeación financiera realiza un análisis cuantitativo pero supone un futuro predecible o bien definido. Este capítulo presenta varias metodologías que permiten integrar la planeación financiera y la estratégica. Los encargados de tomar las decisiones deben diseñar las redes de las cadenas de suministro globales considerando un portafolio de opciones estratégicas —la opción de esperar, construir capacidad en exceso, construir capacidad flexible, firmar contratos en el largo plazo, comprar en el mercado al contado, etc. Las diversas opciones deben ser evaluadas en el contexto de incertidumbre futura.

2. ***Utilizar múltiples métricas para evaluar las redes de la cadena de suministro.*** Como una métrica sólo puede mostrar una parte del panorama, es benéfico examinar las decisiones de diseño de red empleando múltiples métricas, como utilidades de la empresa, utilidades de la cadena de suministro, niveles de servicio al cliente y tiempos de respuesta. Las buenas decisiones se desempeñan bien acompañadas de las métricas más relevantes.

3. ***Usar el análisis financiero como información inicial para la toma de decisiones, no como el proceso de toma de decisiones.*** El análisis financiero es una gran herramienta para el proceso de tomar decisiones, puesto que produce una respuesta y una abundante información que la respalda. Sin embargo, las metodologías financieras por sí solas no proporcionan un panorama completo de las alternativas, y también deben ser considerados otros factores no cuantificables.

4. ***Usar las estimaciones junto con el análisis de sensibilidad.*** Es difícil, si no imposible, obtener con precisión muchos de los datos que se introducen en el análisis financiero. Esto puede hacer que el análisis financiero sea un proceso largo e interminable. Una de las mejores maneras de acelerarlo y llegar a una buena decisión es utilizar las estimaciones de la información cuando parezca que encontrar información precisa se llevaría una gran cantidad de tiempo. Como consideramos en algunas de las secciones orientadas a la práctica, está bien utilizar las estimaciones cuando están respaldadas por un análisis de sensibilidad. Casi siempre es más fácil llegar a algo con un rango de datos que con uno solo. Al realizar un análisis de sensibilidad sobre el rango de las entradas, los gerentes a veces pueden mostrar que no importa dónde se encuentre la verdadera información dentro del rango, la decisión permanece constante. Cuando éste no es el caso, han resaltado una variable clave para tomar la decisión y probablemente merezca más atención para llegar a una respuesta más precisa. En resumen para tomar decisiones eficaces de diseño de la cadena de suministro los gerentes necesitan estimar los datos y luego someter a prueba todas las recomendaciones con el análisis de sensibilidad.

6.8 RESUMEN

1. ***Identificar los factores que deben incluirse en el costo total cuando se toman decisiones de aprovisionamiento global.*** Además del costo unitario, el costo total debe incluir el impacto del aprovisionamiento global en los fletes, inventarios, tiempo de espera, calidad, entrega a tiempo, cantidad mínima de pedido, capital de trabajo y desabastos. Otros factores a considerarse incluyen el impacto en la visibilidad de la cadena de suministro, la comunicación del pedido, los errores de facturación y la necesidad de coberturas de divisas.

2. ***Definir las incertidumbres que son particularmente relevantes cuando se diseñan cadenas de suministro globales.*** El desempeño de una cadena de suministro global se ve impactado por la incertidum-

bre en varios factores como la demanda, los precios, los tipos de cambio y otros factores económicos. Estas incertidumbres y cualquier flexibilidad en la red de la cadena de suministro deben tomarse en cuenta cuando se evalúan diseños alternativos de una cadena de suministro.

3. ***Explicar las diferentes estrategias de diseño que pueden utilizarse para mitigar el riesgo en cadenas de suministro globales.*** Las estrategias de operación que ayudan a mitigar el riesgo en cadenas de suministro globales incluyen contar con capacidad e inventario en exceso, capacidad flexible, proveedores redundantes, capacidad de respuesta mejorada y agregación de la demanda. Las coberturas contra costos de combustible y divisas son estrategias financieras que pueden ayudar a mitigar el riesgo. Es importante tener en cuenta que ninguna estrategia de mitigación de riesgo dará siempre un buen resultado. Estas estrategias están diseñadas como protección contra ciertos estados extremos del mundo que pueden presentarse en un ambiente de incertidumbre global.

4. ***Entender las metodologías del árbol de decisión que se utilizan para evaluar decisiones del diseño de la cadena de suministro bajo incertidumbre.*** Cuando se valúan las secuencias de los flujos de efectivo que resultan del desempeño de una cadena de suministro, los árboles de decisión son un método básico para valorar alternativas bajo incertidumbre. La incertidumbre a lo largo de diferentes dimensiones durante el periodo de evaluación se representa como un árbol donde cada nodo corresponde a un posible escenario. Comenzando en el último periodo del intervalo de evaluación, el análisis con el árbol de decisión retrocede al periodo 0 e identifica la decisión óptima y los flujos de efectivo esperados en cada paso.

Preguntas para debate

1. ¿Por qué es importante considerar la incertidumbre cuando se evalúan las decisiones del diseño de la cadena de suministro?
2. ¿Cuáles son las mayores causas de incertidumbre que pueden afectar el valor de las decisiones de la cadena de suministro?
3. Describa el principio básico de los DCF y cómo se pueden utilizar para comparar las diferentes secuencias de flujos de efectivo.
4. Resuma los pasos básicos en la metodología de análisis del árbol de decisión.
5. Explique por qué el uso de tendencias esperadas en el futuro puede llevar a diferentes decisiones de la cadena de suministro con respecto al análisis con el árbol de decisión que tiene en cuenta la incertidumbre.
6. ¿Cuáles son las principales incertidumbres financieras a que se enfrenta un fabricante de componentes electrónicos al decidir si construir una planta en Tailandia o en Estados Unidos?
7. ¿Cuáles son algunas de las principales incertidumbres no financieras que una compañía debe considerar cuando decide sobre dónde aprovisionarse de producto?

Ejercicios

1. Moon Micro es un pequeño fabricante de servidores que en la actualidad construye todos sus productos en Santa Clara, California. Como el mercado de los servidores ha crecido enormemente, la planta de Santa Clara ha alcanzado la capacidad de 10,000 servidores por año. Moon está considerando dos opciones para incrementar su capacidad: La primera es agregar 10,000 unidades de capacidad a la planta de Santa Clara a un costo fijo anualizado de $10,000,000 más $500 de mano de obra por servidor. La segunda es que Molectron, un fabricante independiente produzca los servidores para Moon a un costo de $2,000 por cada uno (excluyendo el costo de la materia prima). La materia prima cuesta $8,000 por servidor y Moon vende cada servidor en $15,000.

   Moon debe tomar esta decisión considerando un horizonte de dos años. Durante cada año, la demanda de servidores de Moon tiene 80% de posibilidades de que se incremente 50% respecto al año anterior y 20% de permanecer igual que el año anterior. Los precios de Molectron también pueden cambiar. Son fijos en el primer año, pero tienen 50% de probabilidades de incrementarse 20% en el segundo año y 50% de posibilidades de permanecer como están.

   Utilice un árbol de decisión para determinar si Moon debe agregar capacidad a la planta de Santa Clara o si debe subcontratar a Molectron. ¿Qué otros factores que no hemos analizado podrían afectar esta decisión?
2. Unipart, fabricante de autopartes, está considerando dos diferentes mercados B2B para comprar sus suministros MRO**.** Ambos mercados ofrecen una línea completa de suministros a precios muy similares de productos y envío, además de que proporcionan niveles de servicio y tiempos de espera muy semejantes,

   Sin embargo, sus estructuras de comisiones son muy diferentes. El primer mercado, Parts4u.com, vende todos sus

productos con 5% de comisión agregada al precio de cada producto (no incluye envío). Los precios de AllMRO.com se basan en una cuota de suscripción de $10 millones que debe pagarse por adelantado para un periodo de dos años y 1% de comisión sobre el precio del producto por cada transacción.

Unipart gasta cerca de $150 millones en suministros de MRO cada año, aunque esto varía con su uso. Es probable que el siguiente sea un año fuerte en el cual una utilización alta mantendrá el gasto en MRO de $150 millones. Sin embargo hay 25% de probabilidades de que el gasto caiga 10%. En el segundo año hay 50% de probabilidades de que el nivel de gasto permanezca donde estaba el primer año, y 50% de probabilidades de que caiga otro 10%. Unipart emplea una tasa de descuento de 20%. Suponga que se incurre en todos los costos al inicio de cada año (de manera que ahora se incurre en los costos del año 1 y dentro de un año en los del año 2).

¿A cuál mercado B2B debe comprar Unipart sus partes?

3. Alphacap, fabricante de componentes electrónicos, está tratando de seleccionar un proveedor de materias primas de uso en su producto principal, el condensador de doble capa. Se trata de un condensador que los fabricantes de teléfonos celulares utilizan para proteger los microprocesadores contra variaciones bruscas de corriente. Dos compañías pueden proporcionar los materiales necesarios, MultiChem y Mixemat.

MultiChem goza de una sólida reputación por sus productos y cobra un alto precio debido a su confiabilidad en el suministro y entrega, pues dedica capacidad de planta a cada uno de los clientes y, por tanto, el suministro está garantizado. Esto permite a MultiChem cobrar $1.20 por las materias primas que emplea en cada condensador de doble capa.

Mixemat es un pequeño proveedor de materias primas que cuenta con capacidad limitada pero sólo cobra $0.90 por unidad de materia prima. Sin embargo, su confiabilidad está en duda, pues no tiene la suficiente capacidad para abastecer a todos sus clientes todo el tiempo. Esto significa que los pedidos hechos a Mixemat no están garantizados. En un año de alta demanda de materias primas, Mixemat tendrá 90,000 unidades disponibles para Alphacap. En años de baja demanda se entregará todo el producto.

Si Alphacap no obtiene sus materias primas de los proveedores, necesita comprarlas en el mercado al contado para proveer a sus clientes. Alphacap depende de un importante fabricante de teléfonos celulares para la mayor parte de su negocio. Cualquier falla en la entrega podría llevarle a perder este contrato, lo que en esencia pondría en riesgo a la empresa. Por consiguiente, Alphacap comprara su materia prima en el mercado al contado para compensar cualquier déficit. Los precios al contado de compra de un solo lote (como el que Alphatap necesitaría) son de $2 cuando la demanda de materias primas es baja y de $4 cuando es alta.

Hay 75% de probabilidades de que la demanda en el mercado al contado de materias primas sea alta en cada uno de los dos años siguientes. Alphacap vendió 100,000 condensadores de doble capa el año pasado y espera vender 110,000 este año. Si embargo, hay 25% de probabilidades de que venda sólo 100,000. El siguiente año la demanda tiene 75% de probabilidades de incrementarse, 20% durante ese año y 25% de probabilidades de caer 10%. Alphacap emplea una tasa de descuento de 20%. Suponga que se incurre en todos los costos al inicio de cada año (ahora se incurre en los costos del año 1 y dentro de un año en los del año 2) y que Alphacap debe tomar una decisión con un horizonte de dos años. Solamente puede escoger un proveedor, ya que estos dos proveedores se niegan a abastecer a alguien que trabaje con su competidor.

¿Qué proveedor debe escoger Alphacap? ¿Qué otra información le gustaría tener para tomar esta decisión?

4. Bell Computer se encuentra en una encrucijada. Este fabricante de computadoras personales ha estado creciendo con rapidez, lo que está causando problemas en sus operaciones ya que trata de mantenerse a la par de la creciente demanda. Sus ejecutivos pueden ver con claridad que dentro del siguiente semestre los sistemas utilizados para coordinar su cadena van a fallar porque no serán capaces de manejar el volumen de los proyectos que Bell tendrá.

Para resolver este problema Bell ha recurrido a dos compañías de software de cadena de suministro que le han propuesto sistemas que podrían cubrir el volumen y la complejidad de las tareas que Bell necesita manejar. $in embargo, las dos están ofreciendo dos tipos muy diferentes de productos.

La primera compañía, SCSoftware, propone un sistema en el que Bell tendrá que comprar una licencia. Esto le permitirá utilizar el software por el tiempo que desee. Sin embargo, será responsabilidad de Bell mantenerlo, lo que requerirá recursos significativos.

La segunda compañía, SC-ASP, propone que Bell pague una cuota de suscripción mensual para que SC-ASP sea el anfitrión de las aplicaciones de la cadena de suministro de Bell en máquinas de SC-ASP. Los empleados de Bell tendrán acceso a la información y análisis a través de un explorador de Internet. La información se transmitirá automáticamente de los servidores de ASP a los de Bell siempre que sea necesario. Bell continuará pagando la cuota mensual por el software, pero ASP realizará todo el mantenimiento.

¿Cómo debe proceder Bell con respecto a la decisión de qué compañía de software escoger? ¿Cuáles son las piezas específicas de información que Bell necesita conocer (tanto con respecto al software como a las condiciones futuras que Bell experimentará), a fin de tomar una decisión? ¿Cuáles son algunos de los aspectos cualitativos en que Bell debe pensar para cuando tome esta decisión?

5. Reliable es un fabricante de teléfonos celulares que atiende los mercados de Asia y Norteamérica. La demanda anual actual de su producto en Asia es de 2 millones, mientras que en Norteamérica es de 4. Durante los dos años siguientes, se espera que la demanda en Asia suba 50% con una probabilidad de 0.7 o que suba 20% con una probabilidad de 03. Durante el mismo periodo, se espera que la demanda en Norteamérica suba 10% con una probabilidad de 0.5, o que baje 10% con una probabilidad de 0.5. Actualmente Reliable tiene una instalación de producción en Asia con una capacidad de 2,400,000 unidades por año y otra en Norteamérica con capacidad de 4,200,000 anuales. El costo variable de producción por teléfono en Asia es de $15 y en Norteamérica es de $17. Enviar un teléfono entre los dos mercados cuesta $3. Cada teléfono se vende a $40 en ambos mercados.

Reliable debe decidir si agrega 2,000,000 de unidades o 1,500,000 unidades de capacidad a la planta en Asia. El incre-

mento más grande de la planta costará $18,000,000, mientras que el menor costará $15,000,000. Suponga que Reliable emplea un factor de descuento de 10%. ¿Qué recomienda?

6. Un fabricante europeo de ropa tiene instalaciones de producción en Italia y en China para atender su mercado europeo donde la demanda anual es de 1.9 millones de unidades. Se espera que la demanda permanezca en el mismo nivel en el futuro cercano. Cada instalación tiene una capacidad de 1 millón de unidades por año. Con los tipos de cambio actuales, el costo de producción y distribución desde Italia es de 10 euros por unidad, mientras que desde Clima es de 7. Durante cada uno de los siguientes tres años, la moneda china se revaluará 15% con respecto al euro con una probabilidad de 0.5, o caerá 5% con una probabilidad de 0.5. Una opción que se está considerando es reducir la capacidad en Italia en 0.5 millones de unidades y pasarla a China a un costo único de 2 millones de euros. Suponga un factor de descuento de 10% durante los tres años. ¿Recomienda esta opción?

7. Un Fabricante de productos químicos está estableciendo la capacidad en Europa y Norteamérica para los siguientes tres años. La demanda anual en cada mercado es de 2 millones de kilogramos y *es* probable que permanezca en ese nivel. Las dos opciones que se consideran son de construir 4 millones de unidades de capacidad en Norteamérica y construir 2 millones de unidades de capacidad en cada una de las dos ubicaciones. La construcción de las dos plantas implicará un costo único adicional de $2 millones. El costo variable de producción en Norteamérica (ya sea para una planta pequeña o una grande) es actualmente de $10/kg mientras que el costo en Europa es de 9 euros/kg. El tipo de cambio actual es de 1 euro por $1.33 de dólar estadounidense. Durante cada uno de los siguientes tres años, se espera que el dólar se fortalezca 10% con una probabilidad de 0.5 y que se debilite 5% con una probabilidad de 0.5. Suponga un factor de 10% de descuento. ¿Qué debe hacer el fabricante de químicos? ¿A qué diferencial de costo inicial de construir las dos plantas le será indiferente al fabricante de químicos escoger entre las dos opciones?

Bibliografía

Amram, Martha, y Nalin Kulatilaka. (1999). *Real Options.* Cambridge, MA: Harvard Business School Press.

Bovet, David. (Septiembre 2008). The Supply Chain Manager as Global Economist. *Supply Chain Management Review,* pp. 17-24.

Brealey, Richard A., y Stewart C. Myers. (1996). *Principles of Corporate Finance.* Nueva York: McGraw-Hill.

Chang, Shih-Chia, Neng-Pai Lin, y Chwen Sheu. (2002). Aligning Manufacturing Flexibility with Environmental Uncertainty: Evidence from High-Technology Component Manufacturers in Taiwan. *International Journal of Production Research* 40, núm. 18, pp. 4765-4780.

Chopra, Sunil, y ManMohan S. Sodhi. (2004). Managing Risk to Avoid Supply Chain Breakdown. *Sloan Management Review* 46, núm. 1, pp. 53-61.

De Treville, Suzanne, y Lenos Trigeorgis. (Octubre 2010). It May Be Cheaper to Manufacture at Home. *Harvard Business Review,* pp. 84-87.

Farrell, Diana. (Diciembre 2004). Beyond Offshoring: Assess Your Company's Global Potential. *Harvard Business Review,* pp. 82-90.

Farreira, John, y Len Prokopets. (Enero-febrero 2009). Does Offshoring Still Make Sense? *Supply Chain Management Review,* pp. 20-27.

Favre, Donavon, y John McCreery. (Septiembre 2008). Coming to Grips with Rising Supplier Risk. *Supply Chain Management Review,* pp. 26-32.

Garber, Randy, y Suman Sarkar. (Enero-febrero 2007). Want a More Flexible Supply Chain? *Supply Chain Management Review,* pp. 28-34.

Goel, Ajay, Nazgol Moussavi, y Vats N. Srivatsan. (Invierno de 2008). Time to Rethink Offshoring?" *McKinsey on Business Technology,* pp. *14* 32-35.

Harding, Mary Lu. (2007). Gauging Total Cost, Supplier by Supplier". *CSCMP's Supply Chain Quarterly* (Q4), pp. 64-68.

Horngren, Charles T., George Foster, y Srikant M. Datar. (1997). *Cost Accounting.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Johnson, Norman L., Samuel Kotz, y N. Balakrishnan. (1994). *Continuous Univariate Distributions.* Nueva York: John Wiley & Sons.

Jordan, W.C., y S.C. Graves. (Abril 1995). Principles on the Benefits of Manufacturing Process Flexibility. *Management Science,* núm. 41, pp. 577-594.

Lim, Michael, Achal Bassamboo, Sunil Chopra, y Mark S. Daskin. (2008). *Flexibility and Fragility: Supply Chain Network Design with Disruption Risks*. (Reporte de trabajo). Northwestern University, Evanston, IL.

Luehrman, Timothy A. (1995). Capital Projects as Real Options: An Introduction. Harvard Business School, Caso 9-295-074.

______________. (Julio-agosto 1998). Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers. *Harvard Business Review,* pp. 51-67.

______________. (Septiembre-octubre 1998). Strategy as a Portfolio of Real Options. *Harvard Business Review,* pp. 89-99.

Ross, Sheldon M. (1983). *Introduction to Stochastic Dynamic Programming.* Nueva York: Academic Press.

Sheffi, Y. (2005). *The Resilient Enterprise.* Cambridge: The MIT Press.

Smith, Adam. (1904). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations,* 5a. ed. Londres: Methuen & Co., Ltd.

Stokey, Nancy L., Robert E. Lucas Jr., y Edward C. Prescott. (1989). *Recursive Methods in Economic Dynamics.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Swaminathan, Jayashankar M., y Brian Tomlin. (Julio-agosto 2007). How to Avoid the Six Risk Management Pitfalls. *Supply Chain Management Review,* pp. 34-42.

Tanowitz, Marc, y David Rutchik. (Octubre 2008). Squeezing Opportunity Out of Higher Fuel Costs. *Supply Chain Management Review,* pp. 34-40.

Trigeorgis, Lenos. (1996). *Real Options.* Cambridge, MA: The MIT Press.

ESTUDIO DE CASO

BioPharma, Inc.[11]

En 2009 Phillip (Phil) Landgraf enfrentó varios problemas en el desempeño financiero de su compañía BioPharma, Inc. La empresa había experimentado un descenso pronunciado en las utilidades y costos muy altos en sus plantas de Alemania y Japón. Landgraf, presidente de las operaciones globales de la compañía sabía que la demanda de los productos de la compañía era estable en todo el mundo. En consecuencia, la capacidad excedente de su red de producción global parecía un lujo que ya no se podía permitir.

Cualquier mejora en el desempeño financiero dependía de tener en operación la red más eficiente, ya que los ingresos probablemente no crecerían. Por tanto, para el año siguiente la mayor prioridad era reducir los costos. Para ayudar a diseñar una red más rentable, Landgraf asignó una fuerza de tarea para que recomendara un curso de acción.

Antecedentes

BioPharma, Inc., es un fabricante global de productos químicos a granel de uso en la industria farmacéutica. La compañía tiene las patentes de dos productos químicos conocidos internamente como Highcal y Relax que la división farmacéutica de la compañía utiliza y también vende a otros fabricantes de medicamentos. Hay diferencias en las especificaciones precisas de los químicos que deben cumplirse en diferentes partes del mundo. Sin embargo, en la actualidad todas las plantas son capaces de producir ambos químicos para cualquier parte del mundo.

Las ventas de cada uno de los productos por región y la producción y capacidad de cada planta en 2009 se muestran en la tabla 6-18. La capacidad de planta, medida en millones de kilogramos de producción, puede asignarse a cualquiera de los químicos siempre que la planta sea capaz de producir ambos. BioPharma ha pronosticado que es probable que sus ventas de los dos químicos permanezcan estables en todo el mundo, excepto en Asia sin Japón, donde se espera que las ventas crezcan 10% anualmente durante cada uno de los cinco años siguientes antes de que se estabilice.

La planta japonesa es líder en tecnología dentro de la red de BioPharma en términos de su capacidad para manejar asuntos regulatorios y ambientales. Algunos desarrollos en la planta japonesa se habían transferido a otras plantas en la red. La planta alemana es líder en términos de capacidad de producción. La planta ha tenido rutinariamente los rendimientos más altos dentro de la red global. Las plantas de Brasil, la India y México tienen tecnología obsoleta que requiere actualizarse.

Costos actuales de las plantas de BioPharma

Después de un intenso debate, la fuerza de tarea identificó la estructura de costos en cada planta en 2009, como se muestra en la tabla 6-19. Cada planta incurre en un costo fijo anual que es independiente de su nivel de producción. El costo fijo incluye depreciación, servicios públicos, los salarios y prestaciones de los empleados que trabajan en

Tabla 6-18 Ventas por región y capacidad de producción por planta de Highcal y Relax en millones de kilogramos

			Highcal		Relax	
Región	Planta	Capacidad	2009 Ventas	2009 Producción	2009 Ventas	2009 Producción
América Latina	Brasil	18.0	7.0	11.0	7.0	7.0
Europa	Alemania	45.0	15.0	15.0	12.0	0.0
Asia sin Japón	India	18.0	5.0	10.0	3.0	8.0
Japón	Japón	10.0	7.0	2.0	8.0	0.0
México	México	30.0	3.0	12.0	3.0	18.0
Estados Unidos	Estados Unidos	22.0	18.0	5.0	17.0	17.0

[11]Caso inspirado en *Applichem (A)*, Harvard Business School, Caso 9-685-051, 1985.

Tabla 6-19 Costos de producción fijos y variables en cada una de las plantas de BioPharma en 2009 (US$)

				Highcal		Relax	
Planta	**Costo fijo de la planta (millones $)**	**Costo fijo de Highcal (millones $)**	**Costo fijo de Relax (millones $)**	**Materia prima ($/kg)**	**Costo de producción ($/kg)**	**Materia prima ($/kg)**	**Costo de producción ($/kg)**
Brasil	20.0	5.0	5.0	3.6	5.1	4.6	6.6
Alemania	45.0	13.0	14.0	3.9	7.0	5.0	8.5
India	18.0	4.0	4.0	3.6	4.5	4.5	6.0
Japón	17.0	6.0	6.0	3.9	7.5	5.1	9.0
México	30.0	6.0	6.0	3.6	5.0	4.6	6.5
Estados Unidos	21.0	5.0	5.0	3.6	5.0	4.5	6.5

administración general, programación, expedición, contabilidad, mantenimiento, etcétera. Cada planta que es capaz de producir Highcal o Relax también incurre en un costo fijo relacionado con el producto que es independiente de la cantidad de cada químico producido. El costo fijo relacionado con el producto incluye la depreciación del equipo específico de un químico y otros costos fijos relacionados que también son específicos. Si una planta mantiene la capacidad de producir un químico particular, incurre en el costo fijo correspondiente al producto relacionado, incluso si el químico no se produce en la planta.

El costo de producción variable de cada químico consta de dos componentes: costos de materias primas y de producción. Se incurre en el costo variable de producción en proporción a la cantidad del químico producido e incluye la mano de obra directa y el desperdicio. Las plantas pueden manejar varios niveles de producción. De hecho, también pueden estar ociosas durante el año, en cuyo caso incurren sólo en el costo fijo y en ninguno variable.

BioPharma transporta los químicos en contenedores especializados por mar y en camiones especiales por tierra. Los costos de transporte entre plantas y mercados se muestran en la tabla 6-20. Tipos de cambio históricos se muestran en la tabla 6-21 y los derechos de importación regionales en la tabla 6-22. Dadas las alianzas de comercio regionales, los derechos de importación en realidad varían según el origen del químico. Por simplicidad, sin embargo, la fuerza de tarea ha supuesto que los derechos son motivados sólo por el destino. Se supone que la producción local en cada región no genera derechos de importación. Por tanto, la producción de Brasil, Alemania e India se puede enviar a Latinoamérica, Europa, y el resto de Asia excluyendo a Japón, respectivamente, sin incurrir en ningún derecho de importación. Los derechos se aplican sólo al componente de costo de la materia prima, producción y transporte y no al componente de costo fijo. Por tanto, un producto que entra a Latinoamérica con costo de materia prima, producción y transporte de $10 incurre en derechos de importación de $3.

Tabla 6-20 Costos de transporte desde otras plantas a México (US$/kg)

De/A	América Latina	Europa	Asía sin Japón	Japón	México	Estados Unidos
Brasil	0.20	0.45	0.50	0.50	0.40	0.45
Alemania	0.45	0.20	0.35	0.40	0.30	0.30
India	0.50	0.35	0.20	0.30	0.50	0.45
Japón	0.50	0.40	0.30	0.10	0.45	0.45
México	0.40	0.30	0.50	0.45	0.20	0.25
Estados Unidos	0.45	0.30	0.45	0.45	0.25	0.20

(Continúa)

Tabla 6-21 Historial de tipos de cambio de moneda/US$1 (al inicio de cada año)

	Real brasileño	Euro	Rupia india	Yen japonés	Peso mexicano	Dólar estadounidense
2009	2.70	0.74	43.47	103.11	11.21	1.00
2008	2.90	0.80	45.60	107.00	11.22	1.00
2007	3.50	0.96	48.00	119.25	10.38	1.00
2006	2.30	1.11	48.27	131.76	9.12	1.00
2005	1.95	1.06	46.75	114.73	9.72	1.00
2004	1.81	0.99	43.55	102.33	9.48	1.00

Tabla 6-22 Tarifas de importación (porcentaje del valor del producto importado, incluido del transporte)

Latinoamérica	Europa	Asia sin Japón	Japón	México	Estados Unidos
30%	3%	27%	6%	35%	4%

Opciones de red bajo consideración

La fuerza de tarea está considerando varias opciones para su análisis. Una es mantener la red global con su estructura y capacidades actuales. Otras opciones incluyen cerrar algunas plantas o limitar la capacidad de algunas para producir sólo un químico. El cierre de una planta elimina todos los costos variables y ahorra 80% de los costos fijos anuales (20% restante incluye los costos incurridos en relación con el cierre de la planta). Asimismo, si se limita una planta para que produzca sólo un químico, la planta ahorra 80% del costo fijo asociado con el químico que ya no se produce. Las dos opciones que están siendo seriamente consideradas son el cierre la planta japonesa y la limitación de la planta alemana a un solo químico.

Preguntas

1. ¿Cómo debió BioPharma haber utilizado su red de producción en 2009? ¿Debió haber estado ociosa cualquiera de las plantas? ¿Cuál es el costo anual de su propuesta, incluidos los derechos de importación?
2. ¿Cómo debe Landgraf estructurar su red de producción global? Suponga que el pasado es un indicador razonable del futuro en términos de tipos de cambio.
3. ¿Hay alguna planta en la que valga la pena agregar un millón de kilogramos de capacidad adicional a un costo fijo de $3 millones al año?
4. ¿Cómo se ven afectadas sus recomendaciones por la reducción de los derechos?
5. El análisis ha supuesto que cada planta tiene una producción de 100% (porcentaje de producción de calidad aceptable). ¿Cómo modificaría su análisis para tener en cuenta las diferencias de producción entre las plantas?
6. ¿Qué otros factores deben tenerse en cuenta al hacer sus recomendaciones?

ESTUDIO DE CASO

Decisión de aprovisionamiento en Forever Young

Forever Young es un minorista de ropa de moda de costo bajo en Estados Unidos. La compañía divide el año en cuatro estaciones de ventas de cerca de tres meses cada una y saca mercancía nueva en cada temporada. La compañía históricamente ha subcontratado la producción a China por sus costos bajos. El aprovisionamiento desde el proveedor chino cuesta 55 yuanes por unidad (incluyendo todos los costos de entrega), que al tipo de cambio actual de 6.5 yuanes por dólar da un costo variable de menos de $8.50 por unidad. El proveedor chino, sin embargo, tiene

un largo tiempo de espera, y obliga a Forever Young a seleccionar un tamaño de pedido mucho antes del inicio de la temporada. Esto le resta flexibilidad a la compañía si la demanda real difiere del tamaño del pedido.

Un proveedor local se acercó a la gerencia con una propuesta de surtir el producto a un costo de $10 por unidad pero lo bastante rápido para que Forever Young iguale la oferta con exactitud a la demanda en la temporada. A la gerencia le preocupa el costo variable más alto pero encuentra muy atractiva la flexibilidad del proveedor interno. El desafío es valorar la capacidad de respuesta del proveedor local.

Incertidumbres de Forever Young

Para comparar mejor los dos proveedores, la gerencia identifica la demanda y los tipos de cambio como las dos incertidumbres importantes que la compañía debe enfrentar. Durante cada uno de los siguientes dos periodos (suponga que son de un año cada uno), la demanda puede subir 10% con una probabilidad de 0.5 o bajar 10% con una probabilidad de 0.5. La demanda en el periodo actual fue de 1,000 unidades. Asimismo, durante cada uno de los siguientes periodos el yuan puede fortalecerse 5% con una probabilidad de 0.5 o debilitarse 5% con una probabilidad de 0.5. El tipo de cambio en el periodo actual fue de 6.5 yuanes por dólar.

Políticas de colocación de pedidos con los dos proveedores

Dado el largo tiempo de espera del proveedor localizado externamente, Forever Young se compromete a hacer un pedido antes de observar cualquier señal de demanda. Ante la incertidumbre en la demanda durante los dos siguientes periodos y el hecho de que el margen de cada unidad (margen de cerca de $11.50) es más alto que la pérdida si la unidad no se vende al final de la temporada (pérdida de cerca de $8.50), la gerencia decide colocar un pedido que sea un poco mayor que la demanda esperada. Dado que la demanda esperada es de 1,000 unidades durante cada uno de los dos siguientes periodos, la gerencia decide pedir 1,040 al proveedor chino para cada uno de los dos siguientes periodos. Si la demanda en un periodo resulta ser de más de 1,040 unidades, Forever Young venderá 1,040 unidades. Sin embargo, si la demanda resulta ser de menos de 1,040, la compañía tendrá producto sobrante por el cual no podrá recuperar ningún ingreso.

El corto tiempo de espera del proveedor local le permite a Forever Young seguir trayendo producto poco a poco con base en las ventas reales. Por tanto, si se utiliza el proveedor local, la compañía es capaz de satisfacer toda la demanda en cada periodo sin inventario sobrante o ventas perdidas. En otras palabras, el pedido final del proveedor local será exactamente igual a la demanda observada por Forever Young.

Una estrategia híbrida potencial

El proveedor local también hizo otra propuesta que permitiría a Forever Young utilizar ambos proveedores, cada uno desempeñando un rol diferente. El proveedor chino produciría una cantidad base para la temporada y el proveedor local cubriría cualquier déficit que resultara. El corto tiempo de espera del proveedor local garantizaría que no perderían ventas. Es decir, si Forever Young se compromete a una carga base de 900 unidades con el proveedor chino en un periodo dado y la demanda es de 900 unidades o menos, no se pediría nada al proveedor local. Pero si la demanda es de más de 900 unidades (digamos de 1,100), el déficit de 200 unidades sería surtido por el proveedor local. Con una estrategia híbrida, el proveedor local terminaría surtiendo sólo una pequeña fracción de la demanda de la temporada. Sin embargo, por esta flexibilidad extra y volúmenes reducidos, el proveedor local propone cobrar $11 por unidad si se usa como parte de una estrategia híbrida.

Preguntas

1. Trace un árbol de decisión que refleje la incertidumbre durante los dos siguientes periodos. Identifique cada nodo en términos de demanda y tipo de cambio, así como las probabilidades de transición.
2. Si la gerencia en Forever Young escoge sólo uno de los dos proveedores, ¿cuál recomendaría? ¿Cuál es el NPV de la utilidad esperada durante los dos siguientes periodos con cada una de las dos opciones? Suponga un factor de descuento de $k = 0.1$ por periodo.
3. ¿Qué piensa del método híbrido? ¿Vale la pena pagarle al proveedor extra por usarlo como parte de una estrategia híbrida? Para el método híbrido, suponga que la gerencia pedirá una carga base de 900 unidades al proveedor chino para cada uno de los dos periodos, compensando cualquier déficit en cada periodo con el proveedor local. Evalúe el NPV de las utilidades esperadas con la opción híbrida suponiendo un factor de descuento de $k = 0.1$ por periodo.

7



Pronóstico de la demanda en una cadena de suministro

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de

1. Entender el rol del pronóstico tanto para la empresa como para la cadena de suministro.
2 Identificar los componentes del pronóstico de la demanda.
3. Pronosticar la demanda en una cadena de suministro dada la información de la demanda histórica empleando metodologías de series de tiempo.
4. Analizar los pronósticos de la demanda para estimar el error de pronóstico.

Todas las decisiones relacionadas con la cadena de suministro tomadas antes de que la demanda se haya materializado se consideran como un pronóstico. En este capítulo explicamos cómo se puede emplear la información de la demanda histórica para pronosticar la demanda futura y cómo estos pronósticos afectan la cadena de suministro. Describimos varios métodos para pronosticar la demanda y estimar la precisión de un pronóstico. Luego analizamos cómo se implementan estos métodos utilizando Microsoft Excel.

7.1 ROL DEL PRONÓSTICO EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Los pronósticos de la demanda forman la base de toda planeación de la cadena de suministro. Consideremos la visualización de empuje/tirón de la cadena de suministro, analizada en el capítulo 1. Todos los procesos de empuje en la cadena se realizan con anticipación a la demanda del cliente, mientras que todos los procesos de tirón se realizan en respuesta a la demanda del cliente. Para los procesos de empuje el gerente debe planear el nivel de actividad, ya sea en la producción, el transporte o en cualquier otra actividad planeada. Para los procesos de tirón, el gerente debe planear el nivel de capacidad e inventario disponibles, pero no la cantidad real que se ejecutará. En ambos casos el primer paso que el gerente debe tomar es pronosticar cuál será la demanda del cliente.

Una tienda de Home Depot que vende pintura solicita la pintura base y los colorantes con anticipación a los pedidos del cliente, mientras realiza la mezcla final para atender los pedidos del cliente. Home Depot pronostica la demanda futura para determinar la cantidad de pintura y colorante que debe tener disponible (un proceso de empuje). Más adelante en la cadena de suministro, la fábrica de pinturas que produce la base también necesita pronósticos para determinar sus propios niveles de producción e inventario. A su vez, y por la misma razón, los proveedores de la fábrica necesitan pronósticos. Cuando cada etapa de la cadena de suministro realiza sus propios pronósticos por separado, por lo regular son muy diferentes. El resultado es un desajuste entre la oferta y la demanda. Cuando todas las etapas trabajan juntas para producir un pronóstico colaborativo, éste tiende a ser más preciso. La precisión permite a las cadenas de suministro tener mayor capacidad de respuesta y ser más eficientes para atender a sus clientes. Los líderes en muchas cadenas de suministro, desde fabricantes de computadoras personales hasta minoristas que venden productos empacados, han mejorado su capacidad para igualar la oferta a la demanda cuando se deciden a hacer pronósticos colaborativos.

Consideremos el valor del pronóstico colaborativo para Coca-Cola y sus embotelladores. Coca-Cola decide el momento de lanzar varias promociones con base en el pronóstico de la demanda durante el siguiente trimestre.

Las decisiones relacionadas con la promoción se incorporan entonces al pronóstico actualizado de la demanda, el cual es esencial para que los embotelladores planeen sus decisiones de capacidad y producción. Es improbable que un embotellador que opera sin un pronóstico actualizado basado en la promoción cuente con suficiente abasto para Coca-Cola, lo que va en detrimento de las utilidades de la cadena.

Los productos maduros con demanda estable, como leche o toallas de papel, suelen ser más fáciles de pronosticar. Tanto el pronóstico como las decisiones gerenciales que lo acompañan son en extremo difíciles cuando la oferta de materia prima o la demanda del producto terminado es altamente impredecible. Los productos de moda y muchos productos de alta tecnología son ejemplos de artículos difíciles de pronosticar. En ambos casos es esencial una estimación del error de pronóstico cuando se diseña la cadena de suministro y se planifica su respuesta.

Antes de que empecemos a analizar a fondo los componentes de los pronósticos y los métodos de pronosticar en la cadena de suministro, enumeramos brevemente las características de los pronósticos que el gerente debe entender para diseñar y administrar de manera eficaz su cadena de suministro.

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRONÓSTICOS

Las compañías y los gerentes de cadena de suministro deben estar conscientes de las siguientes características de los pronósticos.

1. Los pronósticos siempre son imprecisos y por tanto deben incluir tanto su valor esperado como una medida de error del pronóstico. Para entender la importancia de un error de pronóstico consideremos dos distribuidores de automóviles. Uno de ellos espera que las ventas fluctúen entre 100 y 1,900 unidades, en tanto que el otro espera que lo hagan entre 900 y 1,100. Aun cuando ambos distribuidores prevén un promedio de ventas de 1,000 las políticas de adquisición de cada uno deben ser muy diferentes dada la diferencia en la precisión del pronóstico. Por tanto, el error de pronóstico (o incertidumbre de la demanda) debe ser una información clave en la mayoría de las decisiones de la cadena de suministro. Desafortunadamente, la mayoría de las compañías no llevan ningún registro del error de pronóstico.
2. En general, los pronósticos en el largo plazo son menos precisos que los de corto plazo; es decir, los primeros tienen una mayor desviación estándar del error en relación con la media que los segundos. Seven-Eleven Japan ha explotado esta propiedad fundamental para mejorar su desempeño. La compañía ha instituido un proceso de reabastecimiento que le permite surtir un pedido en horas. Por ejemplo, si el gerente de una tienda coloca un pedido a las 10:00 a.m. éste se entrega a las 7:00 p.m. del mismo día. Por tanto, el gerente sólo tiene que pronosticar lo que venderá esa noche, menos de 12 horas antes de la venta real. El corto tiempo de espera permite al gerente tomar en consideración la información actual, que pudiera afectar las ventas del producto, como el clima. Es probable que este pronóstico sea más preciso que si el gerente tuviera que pronosticar la demanda con una semana de anticipación.
3. Los pronósticos agregados suelen ser más precisos que los desagregados, ya que tienden a tener una menor desviación estándar del error en relación con la media. Por ejemplo, es fácil pronosticar el Producto Interno Bruto (PIB) de Estados Unidos para un cierto año con un error menor que 2%. Sin embargo, es mucho más difícil pronosticar el ingreso anual de una compañía con menos de 2% de error, y es aún más difícil pronosticar el ingreso de un producto dado con el mismo grado de precisión. La diferencia clave entre los tres pronósticos es el grado de agregación. El PIB es una agregación de muchas compañías y los ingresos de una compañía son agregación de diversas líneas de productos. Cuanto mayor sea la agregación, más preciso será el pronóstico.
4. En general, cuanto más arriba está una compañía en la cadena de suministro (o más lejos del consumidor), mayor será la distorsión de la información que reciba. Un ejemplo clásico de esto es el efecto de látigo (vea el capitulo 10), en el cual la variación del pedido se amplifica conforme los pedidos se alejan del cliente final. Como resultado, cuanto más arriba se encuentre una compañía en la cadena de suministro, más grande será el error de pronóstico. El pronóstico colaborativo basado en las ventas al cliente final ayuda a las empresas que se encuentran más lejos del consumidor a reducir el error de pronóstico.

En la siguiente sección analizamos los componentes básicos del pronóstico y explicamos las cuatro clasificaciones dentro de las cuales caen los métodos de pronóstico e introducimos el concepto de error de pronóstico.

7.3 COMPONENTES DE UN PRONÓSTICO Y MÉTODOS DE PRONOSTICAR

Yogi Berra, el ex receptor de los Yankees de Nueva York, famoso por sus disparates, afirmó en alguna ocasión, "Las predicciones en general son difíciles, especialmente acerca del futuro". Uno puede verse tentado a tratar el pronóstico de la demanda como cosa de magia o arte y dejar todo al azar. Lo que una compañía sabe acerca del comportamiento pasado de sus clientes, arroja luz sobre su comportamiento futuro. La demanda no surge de la nada; antes bien, la demanda del cliente depende de varios factores y puede pronosticarse, al menos con cierta probabilidad, si una compañía puede determinar la relación entre estos factores y la demanda futura. Para pronosticar la demanda, las compañías deben identificar primero los factores que influyen en la demanda futura y luego cerciorase de la relación entre la demanda futura y dichos factores.

Las compañías deben equilibrar los factores objetivos y subjetivos cuando pronostican la demanda. Aunque en este capítulo nos enfocamos en métodos de pronóstico cuantitativos, las compañías deben incluir el aspecto humano al hacer su pronóstico final. Seven-Eleven Japan ilustra este punto.

Seven-Eleven Japan proporciona a sus gerentes de tienda un sistema muy avanzado de apoyo de la toma de decisiones, que pronostica la demanda y recomienda un pedido. Sin embargo, el gerente es responsable de tomar la decisión final y de colocar el pedido, ya que tiene acceso a información sobre las condiciones del mercado que no está disponible en la información de la demanda histórica. Es probable que este conocimiento de las condiciones del mercado mejore el pronóstico. Por ejemplo, si el gerente sabe que quizá llueva o haga frío al día siguiente, puede reducir el tamaño de un pedido de helados que haría a un proveedor más lejano al cliente final, incluso si la demanda hubiera sido alta durante los días anteriores cuando el clima era cálido. En este caso, un cambio en las condiciones del mercado (el clima) no hubiera podido pronosticarse recurriendo a la información de la demanda histórica. Una cadena de suministro puede obtener beneficios sustanciales al mejorar el pronóstico de la demanda mediante información cualitativa proporcionada por personas.

Una compañía debe estar al tanto de numerosos factores relacionados con el pronóstico de la demanda, incluidos los siguientes:

- Demanda pasada
- Tiempo de espera de reabastecimiento del producto
- Publicidad planeada o esfuerzos de marketing
- Descuentos de precios planeados
- Estado de la economía
- Acciones que los competidores han realizado

Una compañía debe entender tales factores antes de poder seleccionar una metodología de pronóstico adecuada. Por ejemplo, históricamente una compañía puede haber experimentado una baja demanda de sopa de pollo con tallarines en el mes de julio y una demanda alta en diciembre y enero. Si la empresa hace un descuento en el precio del producto en julio, la situación probablemente se modifique, y una parte de la demanda futura se pasará al mes de julio. La compañía debe hacer su pronóstico tomando en cuenta este factor.

Los métodos de pronóstico se clasifican de acuerdo con los cuatro tipos siguientes:

1. *Cualitativos*: Los métodos cualitativos son principalmente subjetivos y se apoyan en el juicio humano. Son apropiados sobre todo cuando se dispone de pocos datos históricos o cuando los expertos cuentan con datos de investigación del mercado que pueden afectar el pronóstico. Tales métodos también pueden ser necesarios para pronosticar la demanda a varios años en el futuro en una nueva industria.

2. *Series de tiempo:* Los métodos de pronóstico de series de tiempo utilizan la demanda histórica para hacer un pronóstico. Se basan en la suposición de que la historia de la demanda pasada es un buen indicador de la demanda futura. Estos métodos son más apropiados cuando el patrón de la demanda básica no varía significativamente de un año al siguiente. Son los métodos más sencillos de implementar y pueden servir como un buen punto de inicio para el pronóstico de una demanda.

3. *Causales:* Los métodos de pronóstico causales suponen que el pronóstico de la demanda está altamente correlacionado con ciertos factores en el ambiente (el estado de la economía, la tasas de interés, etcétera). Los métodos de pronóstico causales encuentran esta correlación entre la demanda y los factores ambientales y utilizan estimaciones de cuáles serán éstos para pronosticar la demanda futura. Por ejemplo,

la fijación de precios de los productos está fuertemente relacionada con la demanda. Por tanto, las compañías pueden utilizar métodos causales para determinar el impacto de las promociones de precios en la demanda.

4. *Simulación:* Los métodos de pronóstico de simulación imitan las preferencias del cliente que dan origen a la demanda para llegar a un pronóstico. Con la simulación, una empresa puede combinar los métodos de series de tiempo y causales para responder muchas preguntas como: ¿Cuál será el impacto de una promoción en precios? ¿Cuál será el impacto de la apertura de una tienda competidora cercana? Las aerolíneas simulan el comportamiento de compra del cliente para pronosticar la demanda de asientos de tarifa alta, cuando no hay asientos disponibles de tarifa baja.

Quizás una compañía encuentre difícil decidir que método es más apropiado para pronosticar. De hecho, varios estudios han indicado que emplear múltiples métodos de pronóstico para crear un pronóstico combinado es más efectivo que emplear cualquier otro solo.

En este capítulo nos ocupamos principalmente de los métodos de series de tiempo, los cuales son más apropiados cuando la demanda futura está relacionada con la demanda histórica, los patrones de crecimiento y los patrones estacionales. Con cualquier método de pronóstico siempre existe un elemento aleatorio que no puede ser explicado por los patrones de la demanda histórica. Por consiguiente, cualquier demanda observada puede dividirse en un componente sistemático y en otro aleatorio:

$$\text{Demanda observada } (O) = \text{componente sistemático } (S) + \text{componente aleatorio } (R)$$

El *componente sistemático* mide el valor esperado de la demanda y consiste en lo que llamaremos *nivel*, es decir la demanda desestacionalizada actual; *tendencia*, que es la tasa de crecimiento o declinación de la demanda para el periodo siguiente, y *estacionalidad*, que se refiere a las fluctuaciones estacionales predecibles de la demanda.

El *componente aleatorio* es la parte del pronóstico que se desvía de la parte sistemática. Una compañía no puede (y no debe) pronosticar la dirección del componente aleatorio. Todo lo que una compañía puede pronosticar es el tamaño y la variabilidad del componente aleatorio, que permiten medir el error de pronóstico. El objetivo de pronosticar es filtrar el componente aleatorio (ruido) y estimar el componente sistemático. El *error de pronóstico* mide la diferencia entre el pronóstico y la demanda real. En promedio, un buen método de pronóstico tiene un error cuyo tamaño es comparable al componente aleatorio de la demanda. El gerente debe ser escéptico ante un método de pronóstico que afirme que no tiene error de pronóstico de la demanda histórica. En este caso, el método ha fusionado el componente aleatorio histórico con el componente sistemático. Como resultado, es probable que el método de pronóstico produzca un desempeño deficiente.

7.4 MÉTODO BÁSICO PARA PRONOSTICAR LA DEMANDA

Los cinco puntos siguientes son importantes para que una organización pronostique con eficiencia:

1. Entender el objetivo del pronóstico.
2. Integrar la planeación y el pronóstico de la demanda a través de la cadena de suministro.
3. Identificar los principales factores que influyen en el pronóstico de la demanda.
4. Pronosticar al nivel apropiado de agregación.
5. Establecer medidas de desempeño y error para el pronóstico.

Entender el objetivo del pronóstico

Todo pronóstico respalda las decisiones basadas en él, de manera que un primer paso importante es identificar con claridad estas decisiones. Ejemplos de semejantes decisiones incluyen qué cantidad se debe producir de un producto particular, qué tanto inventario se debe tener y cuánto pedir. Todas las partes que intervienen en las decisiones de una cadena de suministro deben estar conscientes del vínculo entre la decisión y el pronóstico. Por ejemplo, los planes de Walmart de descontar el precio del detergente durante el mes de julio deben compartirse con el fabricante, el transportista y otros implicados en satisfacer la demanda, ya que todos ellos deben tomar decisiones que se ven afectadas por el pronóstico de la demanda. Todas las partes deben llegar con un pronóstico común de la promoción y un plan de acción compartido basado en el pronóstico. Si no se toman estas decisiones de manera conjunta el resultado puede ser demasiado o muy poco producto en varias etapas de la cadena de suministro.

Integrar la planeación y el pronóstico de la demanda a través de la cadena de suministro

Una compañía debe vincular su pronóstico *a* todas las actividades de planeación a través de la cadena de suministro. Éstas incluyen la planeación de la capacidad, de la producción, de promoción y de las compras, entre otras. En un escenario desafortunadamente común, un minorista desarrolla pronósticos basado en actividades promocionales, mientras que un fabricante, que no está enterado de estas promociones, desarrolla un pronóstico diferente de su planeación de producción basado en pedidos históricos. Esto conduce a un desajuste entre la oferta y la demanda y el resultado es un deficiente servicio al cliente. Para lograr esta integración, es una buena idea que una compañía cuente con un equipo interfuncional, con miembros de cada función afectada responsables de pronosticar la demanda; inclusive, una mejor idea es tener miembros de varias compañías de la cadena de suministro trabajando juntos para crear un pronóstico.

Identificar los principales factores que influyen en el pronóstico de la demanda

A continuación, la empresa debe identificar la demanda, la oferta y fenómenos relacionados con el producto que influyen en el pronóstico de la demanda. En lo que a ésta concierne, la compañía debe asegurarse de si está creciendo o declinando, o si tiene un patrón estacional. Estas estimaciones deben basarse en la demanda, no en datos de ventas. Por ejemplo, un supermercado promocionó una cierta marca de cereal en julio de 2011. Como resultado, la demanda de este cereal fue alta mientras que la de otros fue baja. El supermercado no debe emplear los datos de ventas de 2011 para estimar si la demanda de esta marca será alta en julio de 2012, ya que esto ocurrirá sólo si la misma marca se vuelve a promocionar en julio de 2012 y otras marcas responden como lo hicieron el año anterior. Al pronosticar la demanda el supermercado debe entender cuál habría sido la demanda sin la actividad de promoción, y cómo se ve afectada la demanda por las promociones y acciones de la competencia. Una combinación de estos tipos de información permitirá al supermercado pronosticar la demanda para julio de 2012, dada la actividad de promoción planeada para ese año.

En cuanto a la oferta, una compañía debe considerar las fuentes de abastecimiento disponibles para decidir sobre la precisión del pronóstico deseado. Si están disponibles fuentes de suministro alternas con tiempos de espera cortos, tal vez no sea especialmente importante un pronóstico muy preciso. Sin embargo, si sólo está disponible un proveedor con un largo tiempo de espera, un pronóstico preciso tendrá un gran valor.

Respecto del producto, una empresa debe conocer cuántas variantes de un producto están a la venta y si dichas variantes se sustituyen o se complementan entre sí. Si la demanda de un producto influye o es influenciada por la demanda de otro, es mejor si los dos pronósticos se hacen conjuntamente. Por ejemplo, cuando una compañía introduce una versión mejorada del producto existente, es probable que la demanda de éste decline porque los clientes comprarán la versión mejorada. Aunque los datos históricos no indican la declinación de la demanda del producto original, la demanda histórica sigue siendo útil porque permite a la empresa estimar la demanda total combinada de las dos versiones. Evidentemente, la demanda de los dos productos debe pronosticarse de manera conjunta.

Pronosticar al nivel apropiado de agregación

Dado que los pronósticos agregados son más precisos que los disgregados, es importante pronosticar a un nivel de agregación apropiado puesto que la decisión relacionada con la cadena de suministro se ve afectada por el pronóstico. Consideremos un vendedor en una cadena minorista que está pronosticando para escoger el tamaño de un pedido de camisas. Un método es solicitar a cada gerente de tienda el número preciso de camisas necesarias y sumar todas las solicitudes para obtener un tamaño de pedido con el proveedor. La ventaja de este método es que utiliza datos del mercado local que tiene cada gerente de tienda. El problema con este método es que hace que los gerentes de tienda pronostiquen mucho antes de que se presente la demanda en un momento en que es probable que sus pronósticos disgregados sean imprecisos. Un método mejor puede ser pronosticar la demanda en el nivel agregado al ordenar con el proveedor y solicitar a cada gerente de tienda que pronostique sólo cuando las camisas deban asignarse a través de las tiendas. En este caso, el pronóstico de largo tiempo de entrega (pedido del proveedor) es agregado, y por consiguiente el error se reduce. El pronóstico a nivel de tienda disgregado se hace cerca de la temporada de ventas, cuando es probable que los datos del mercado local sean más efectivos.

Establecer medidas de desempeño y error para el pronóstico

Las compañías deben establecer medidas claras de desempeño para evaluar la precisión y la oportunidad del pronóstico. Estas medidas deben estar estrechamente correlacionadas con los objetivos de las decisiones del negocio basadas en estos pronósticos. Por ejemplo, consideremos una compañía de ventas por correo que se vale de un pronóstico para colocar pedidos con sus proveedores en la cadena de suministro. Los proveedores tardan dos meses en enviar los pedidos; por esta razón, la compañía debe asegurarse de que el pronóstico se realice al menos dos meses antes del inicio de la temporada de ventas. Al término de ésta la compañía debe comparar la demanda real con la pronosticada para estimar la precisión del pronóstico, y poner en práctica planes para reducir los futuros errores de pronóstico o responder a los observados.

En la siguiente sección analizamos las técnicas de pronóstico por series de tiempo estáticas y adaptativas.

7.5 MÉTODOS DE PRONOSTICAR POR SERIES DE TIEMPO

El objetivo de cualquier método de pronóstico es predecir el componente sistemático de la demanda y estimar el componente aleatorio. En su forma más general, el componente sistemático de la información de la demanda contiene un nivel, una tendencia y un factor estacional. La ecuación para calcular el componente sistemático puede adoptar varias formas:

- ***Multiplicativa:*** Componente sistemático = nivel × tendencia × factor estacional
- ***Aditiva:*** Componente sistemático = nivel + tendencia + factor estacional
- ***Mixta:*** Componente sistemático = (nivel + tendencia) × factor estacional

La forma específica del componente sistemático aplicable a un pronóstico dado depende de la naturaleza de la demanda. Las compañías pueden desarrollar tanto el método de pronóstico estático como el adaptativo para cada forma. A continuación describimos ambos métodos.

Métodos estáticos

Un método estático supone que las estimaciones de nivel, tendencia y estacionalidad dentro del componente sistemático no varían conforme se observa la nueva demanda. En este caso estimamos cada uno de estos parámetros con base en la información histórica y luego utilizamos los mismos valores para todos los pronósticos futuros. En esta sección analizamos el método de pronóstico estático para emplearlo cuando la demanda tiene una tendencia y un componente estacional. Suponemos que el componente sistemático de la demanda es mixto, es decir,

Componente sistemático = (nivel + tendencia) × factor estacional

Se puede aplicar un método similar a todas las demás formas. Empezamos con algunas definiciones básicas:

L = estimación del nivel en $t = 0$ (estimación de la demanda desestacionalizada durante el periodo $t = 0$)

T = estimación de la tendencia (incremento o decremento de la demanda por periodo)

S_t = estimación del factor estacional en el periodo t

D_t = demanda real observada en el periodo t

F_t = pronóstico de la demanda en el periodo t

En un método de pronóstico estático, el pronóstico en el periodo t de la demanda en el periodo $t + l$ es un producto del nivel en el periodo $t + l$ por el factor estacional en el periodo $t + l$. El nivel en el periodo $t + l$ es la suma del nivel en el periodo 0 (L) y ($t + l$) por la tendencia T. El pronóstico en el periodo t de la demanda en periodo $t + l$ está dado, por tanto, como

$$F_{t+l} = [L + (t + l)T]S_{t+l} \tag{7.1}$$

Tabla 7-1 Demanda trimestral de Tahoe Salt

Año	Trimestre	Periodo t	Demanda D_t
1	2	1	8,000
1	3	2	13,000
1	4	3	23,000
2	1	4	34,000
2	2	5	10,000
2	3	6	18,000
2	4	7	23,000
3	1	8	38,000
3	2	9	12,000
3	3	10	13,000
3	4	11	32,000
4	1	12	41,000

A continuación describimos un método para estimar los tres parámetros L, T y S. Como ejemplo, consideramos la demanda de sal de grano empleada para derretir la nieve. Esta sal la produce una compañía llamada Tahoe Salt, la cual vende la sal a través de varios minoristas independientes alrededor del área de Lake Tahoe en las montañas de la Sierra Nevada. En el pasado, Tahoe Salt se ha apoyado en estimaciones de la demanda de una muestra de sus minoristas, pero la compañía ha observado que éstos siempre sobreestiman sus compras, lo que hace que la compañía (e incluso algunos minoristas) se queden con exceso de inventario. Después de una junta con sus vendedores minoristas, Tahoe ha decidido producir un pronóstico colaborativo. Tahoe quiere trabajar con los minoristas para crear un pronóstico más preciso con base en las ventas reales de sal en los comercios minoristas. La información de la demanda por trimestre durante los tres años pasados se muestra en la tabla 7-1 y se grafica en la figura 7-1.

En la figura 7-1 observamos que la demanda de sal es estacional y que se incrementa desde el segundo trimestre de cualquier año hasta el primer trimestre del año siguiente. El segundo trimestre de cada año tiene la demanda más baja. Cada ciclo dura cuatro trimestres y el patrón de la demanda se repite cada año. Existe también una tendencia en el crecimiento de la demanda, con incrementos de las ventas durante los tres últimos años. La compañía estima que el crecimiento continuará a tasas históricas en el próximo año. A continuación describimos cómo se puede estimar cada uno de los tres parámetros —nivel, tendencia y factores estacionales —. Los dos pasos siguientes son necesarios para hacer esta estimación:

1. Desestacionalizar la demanda y ejecutar regresiones lineales para estimar el nivel y la tendencia.
2. Estimar los factores estacionales.

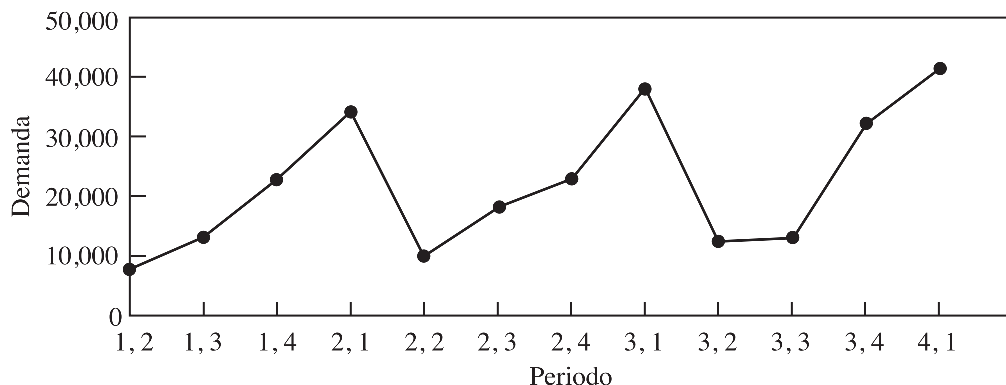


FIGURA 7-1 Demanda trimestral en Tahoe Salt.

ESTIMACIÓN DEL NIVEL Y LA TENDENCIA El objetivo de este paso es estimar el nivel en el periodo 0 y la tendencia. Comenzamos por *desestacionalizar* los datos de la demanda. La *demanda desestacionalizada* representa aquella que se habría observado en ausencia de fluctuaciones estacionales. La *periodicidad* (p) es el número de periodos después de los cuales se repite el ciclo estacional. Para la demanda de Tahoe Salt el patrón se repite cada año. Dado que estamos midiendo la demanda trimestralmente, la periodicidad de la demanda en la tabla 7-1 es $p = 4$.

Para asegurarse de que a cada estación se le dé un peso igual cuando se desestacionaliza la demanda, calculamos el promedio de p periodos consecutivos de la demanda. El promedio de la demanda del periodo $l + 1$ al periodo $l + p$ proporciona la demanda desestacionalizada del periodo $l + (p + 1)/2$. Si p es impar, este método proporciona la demanda desestacionalizada para un periodo existente; si p es par, proporciona la demanda desestacionalizada en un punto entre el periodo $l + (p/2)$ y el periodo $l + 1 + (p/2)$. Al calcular el promedio de la demanda desestacionalizada proporcionado por los periodos $l + 1$ a $l + p$ y $l + 2$ a $l + p + 1$, obtenemos la demanda desestacionalizada del periodo $l + 1 + (p/2)$. Este procedimiento para obtener la demanda desestacionalizada, $\overline{D}_t$, del periodo t se formula de la siguiente manera:

$$\overline{D}_t = \begin{cases} \left[D_{t-(p/2)} + D_{t+(p/2)} + \sum_{i=t+1-(p/2)}^{t-1+(p/2)} 2D_i \right] \Big/ (2p) \text{ para } p \text{ par} \\ \sum_{i=t-[(p-1)/2]}^{t+[(p-1)/2]} D_i / p \text{ para } p \text{ impar} \end{cases} \tag{7.2}$$

En nuestro ejemplo, $p = 4$ es par. Para $t = 3$ obtenemos la demanda desestacionalizada con la ecuación 7.2 como sigue:

$$\overline{D}_3 = \left[D_{t-(p/2)} + D_{t+(p/2)} + \sum_{i=t+1-(p/2)}^{t-1+(p/2)} 2D_i \right] \Big/ (2p) = D_1 + D_5 + \sum_{i=2}^{4} 2D_i \Big/ 8 \tag{7.3}$$

Con este procedimiento podemos obtener la demanda desestacionalizada entre los periodos 3 y 10 como se muestra en las figuras 7-2 y 7-3.

La siguiente relación lineal existe entre la demanda desestacionalizada, $\overline{D}_t$, y el tiempo t, con base en el cambio de la demanda con el tiempo.

$$\overline{D}_t = L + Tt$$

	A	B	C
1	**Periodo** **t**	**Demanda** D_t	**Demanda desestacionalizada**
2	1	8,000	
3	2	13,000	
4	3	23,000	19,750
5	4	34,000	20,625
6	5	10,000	21,250
7	6	18,000	21,750
8	7	23,000	22,500
9	8	38,000	22,125
10	9	12,000	22,625
11	10	13,000	24,125
12	11	32,000	
13	12	41,000	

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
C4	=(B2+B6+2*SUM(B3:B5))/8	7.2	C5:C11

FIGURA 7-2 Libro de trabajo de Excel con demanda desestacionalizada de Tahoe Salt.

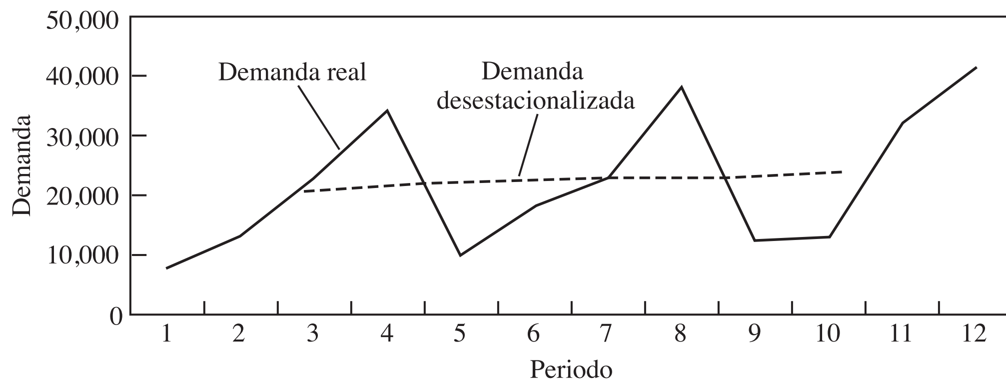


FIGURA 7-3 Demanda desestacionalizada de Tahoe Salt.

Observemos que en la ecuación 7.3, $\overline{D}_t$, representa la demanda desestacionalizada y no la demanda real en el periodo t, L representa el nivel o demanda desestacionalizada en el periodo 0, y T representa la tasa de crecimiento de la demanda desestacionalizada o *tendencia*. Podemos estimar los valores de L y T para la demanda desestacionalizada utilizando la regresión lineal con la demanda desestacionalizada (vea la figura 7-2) como la variable dependiente y el tiempo como la variable independiente. Tal regresión se puede calcular con Microsoft Excel [Datos | Análisis de datos | Regresión (Data | Data Analysis | Regression)]. Esta secuencia de comandos abre el cuadro de diálogo Regresión en Excel. En la hoja de cálculo de Tahoe Salt en la figura 7-2, en el cuadro de diálogo resultante introducimos

Rango de entrada Y = C4:C11

Rango de entrada X = A4:A11

y hacemos clic en el botón OK (aceptar). Se abre una nueva hoja que contiene los resultados de la regresión. Esta nueva hoja contiene estimaciones tanto del nivel inicial L como de la tendencia T. El nivel inicial L se obtiene como el *coeficiente de intercepción,* y la tendencia, T, se obtiene como el *coeficiente variable X* (o la pendiente) de la hoja que contiene los resultados de la regresión. Para el ejemplo de Tahoe Salt, obtenemos $L = 18{,}439$ y $T = 524$. Para este ejemplo la demanda desestacionalizada $\overline{D}_t$, en cualquier periodo t está dada por

$$\overline{D}_t = 18{,}439 + 524t \tag{7.4}$$

Observemos que no es apropiado ejecutar una regresión lineal entre los datos de la demanda original y el tiempo para estimar el nivel y la tendencia, ya que los datos de la demanda original no son lineales y la regresión lineal resultante no será precisa. La demanda debe desestacionalizarse antes de ejecutar la regresión lineal.

ESTIMACIÓN DE FACTORES ESTACIONALES Ahora podemos obtener la demanda desestacionalizada para cada periodo si utilizamos la ecuación 7-4. El factor estacional $\overline{S}_t$, para el periodo t es la razón de la demanda real D_t a la demanda desestacionalizada $\overline{D}_t$, y está dado como

$$\overline{S}_t = \frac{D_i}{\overline{D}_t} \tag{7.5}$$

Para el ejemplo de Tahoe Salt, la demanda desestacionalizada estimada con la ecuación 7.4 y los factores estacionales estimados con la ecuación 7.5 se muestran en la figura 7-4.

Dada la periodicidad, p, obtenemos el factor estacional para un periodo dado promediando los factores estacionales que corresponden a periodos similares. Por ejemplo, si tenemos una periodicidad de $p = 4$, los periodos 1, 5 y 9 tienen factores estacionales similares. El factor estacional para estos periodos se obtiene

	A	B	C	D
1	Periodo t	Demanda D_t	Demanda desestacionalizada (ec. 7.4) $\overline{D}_t$	Factor estacional (ec. 7.5) $\overline{S}_t$
2	1	8,000	18,963	0.42
3	2	13,000	19,487	0.67
4	3	23,000	20,011	1.15
5	4	34,000	20,535	1.66
6	5	10,000	21,059	0.47
7	6	18,000	21,583	0.83
8	7	23,000	22,107	1.04
9	8	38,000	22,631	1.68
10	9	12,000	23,155	0.52
11	10	13,000	23,679	0.55
12	11	32,000	24,203	1.32
13	12	41,000	24,727	1.66

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
C2	=18439+A2*524	7.4	C3:C13
D2	=B2/C2	7.5	D3:D13

FIGURA 7-4 Demanda desestacionalizada y factores estacionales para Tahoe Salt.

como el promedio de los tres factores estacionales. Dados r ciclos estacionales en los datos, para todos los periodos de la forma $pt + i$, $1 \leq i \leq p$, obtenemos el factor estacional como

$$S_i = \frac{\sum_{j=0}^{r-1} \overline{S}_{jp+i}}{r} \tag{7.6}$$

Para el ejemplo de Tahoe Salt, un total de 12 periodos y una periodicidad de $p = 4$ implican que hay $r = 3$ ciclos estacionales en los datos. Obtenemos los factores estacionales con la ecuación 7.6 como

$$S_1 = (\overline{S}_1 + \overline{S}_5 + \overline{S}_9)/3 = (0.42 + 0.47 + 0.52)/3 = 0.47$$
$$S_2 = (\overline{S}_2 + \overline{S}_6 + \overline{S}_{10})/3 = (0.67 + 0.83 + 0.55)/3 = 0.68$$
$$S_3 = (\overline{S}_3 + \overline{S}_7 + \overline{S}_{11})/3 = (1.15 + 1.04 + 1.32)/3 = 1.17$$
$$S_4 = (\overline{S}_4 + \overline{S}_8 + \overline{S}_{12})/3 = (1.66 + 1.68 + 1.66)/3 = 1.67$$

En esta etapa estimamos el nivel, la tendencia y todos los factores estacionales. Ahora podemos obtener el pronóstico para los siguientes cuatro trimestres utilizando la ecuación 7.1. En el ejemplo, el pronóstico para los siguientes cuatro periodos empleando el método de pronóstico estático está dado por

$$F_{13} = (L + 13T)S_{13} = (18{,}439 + 13 \times 524)0.47 = 11{,}868$$
$$F_{14} = (L + 14T)S_{14} = (18{,}439 + 14 \times 524)0.68 = 17{,}527$$
$$F_{15} = (L + 15T)S_{15} = (18{,}439 + 15 \times 524)1.17 = 30{,}770$$
$$F_{16} = (L + 16T)S_{16} = (18{,}439 + 16 \times 524)1.67 = 44{,}794$$

Tahoe Salt y sus minoristas cuentan ahora con un pronóstico más preciso de la demanda. Si no se compartiera la información de ventas entre los minoristas y el fabricante, esta cadena de suministro tendría un pronóstico menos preciso y resultarían varias ineficiencias en la producción y el inventario.

Pronóstico adaptativo

En el pronóstico adaptativo las estimaciones del nivel, la tendencia y la estacionalidad se actualizan después de cada observación de la demanda. La ventaja principal del pronóstico adaptativo es que las estimaciones incorporan todos los datos nuevos observados. A continuación analizamos un marco de referencia básico y varios métodos que pueden usarse para este tipo de pronóstico. El marco se proporciona en su configuración más general, cuando el componente sistemático de los datos de la demanda contiene un nivel, una tendencia y un factor estacional. El marco que presentamos es para el caso en que el componente sistemático tenga una forma mixta. Sin embargo, es fácil de modificar para los otros dos casos e inclusive también puede especializarse para el caso en que el componente sistemático no contenga estacionalidad ni tendencia. Suponemos que contamos con un conjunto de datos históricos de n periodos y que la demanda es estacional, con periodicidad p. Dado que los datos son trimestrales, donde el patrón se repite cada año, tenemos una periodicidad de $p = 4$.

Comenzamos definiendo algunos términos:

$L_{t =}$ estimación del nivel al final del periodo t

T_t = estimación de la tendencia al final del periodo t

S_t = estimación del factor estacional en el periodo t

F_t = pronóstico de la demanda en el periodo t (hecho en el periodo $t – 1$ o antes)

D_t = demanda real observada en el periodo t

$E_t = F_t – D_t$ = error de pronóstico en el periodo t

En los métodos adaptativos, el pronóstico para el periodo $t + 1$ en el periodo t utiliza la estimación del nivel y la tendencia en el periodo t (L_t y T_t, respectivamente) y está dado como

$$F_{t+l} = (L_t + lT_t)S_{t+l} \tag{7.7}$$

Los cuatro pasos en el marco de pronóstico adaptativo son los siguientes:

1. ***Inicializar:*** Calcular los estimaciones iniciales del nivel (L_0), la tendencia (T_0) y los factores estacionales (S_1 ...., S_p) a partir de los datos dados. Esto se lleva a cabo exactamente como en el método de pronóstico estático ya antes analizado en el capítulo con $L_0 = L$ y $T_0 = T$.
2. ***Pronosticar:*** Dadas las estimaciones en el periodo t se pronostica la demanda para el periodo $t + 1$ empleando la ecuación 7.7. Nuestro primer pronóstico es para el periodo 1 y se realiza con las estimaciones del nivel, las tendencias y el factor estacional en el periodo 0.
3. ***Estimación del error:*** Registra la demanda real D_{t+1} en el periodo $t + 1$ y calcular el error E_{t+1} en el pronóstico para el periodo $t + 1$ como la diferencia entre el pronóstico y la demanda real. El error en el periodo $t + 1$ se define como

$$E_{t+1} = F_{t+1} - D_{t+1} \tag{7.8}$$

4. ***Modificar las estimaciones*:** Modificar las estimaciones del nivel (L_{t+1}), la tendencia (T_{t+1}) y los factores estacionales (S_{t+p+1}) dado el error E_{t+1} en el pronóstico. Es deseable que la modificación sea tal que si la demanda es más baja que el pronóstico, las estimaciones se revisen hacia abajo, en tanto que si es más alta que la pronosticada, las estimaciones se revisen hacia arriba.

Las estimaciones revisadas en el periodo $t + 1$ se emplean para construir un pronóstico para el periodo $t + 2$ y los pasos 2, 3 y 4 se repiten hasta que todos los datos históricos hasta el periodo n se hayan cubierto. Las estimaciones del periodo n se emplean entonces para pronosticar la demanda futura.

Ahora podemos analizar varios métodos de pronóstico adaptativos. El método más apropiado depende de la característica de la demanda y de la composición del componente sistemático de la demanda. En cada caso suponemos que el periodo a considerar es t.

PROMEDIO MÓVIL El método de promedio móvil se emplea cuando la demanda no tiene tendencia o estacionalidad observables. En este caso,

Componente sistemático de la demanda = nivel

En este método, el nivel en el periodo t se estima como la demanda promedio durante los N periodos más recientes. Esto representa un promedio móvil de N periodos y se evalúa como sigue:

$$L_t = (D_t + D_{t-1} + \cdots + D_{t-N+1})/N \tag{7.9}$$

El pronóstico actual para todos los periodos futuros es el mismo y se basa en la estimación actual del nivel. El pronóstico se expresa como

$$F_{t+1} = L_t \quad \text{y} \quad F_{t+n} = L_t \tag{7.10}$$

Después de observar la demanda para el periodo $t + 1$ revisamos las estimaciones como sigue:

$$L_{t+1} = (D_{t+1} + D_t + \cdots + D_{t-N+2})/N, \quad F_{t+2} = L_{t+1}$$

Para calcular el nuevo promedio móvil simplemente agregamos la última observación y eliminamos la más antigua. El promedio móvil revisado sirve en el siguiente pronóstico. El promedio móvil corresponde a dar igual peso a los últimos N periodos de datos cuando se pronostican e ignoran todos datos anteriores a este nuevo promedio móvil. Conforme incrementamos N, el promedio móvil es menos sensible a la demanda más recientemente observada. Ilustramos el uso del promedio móvil en el ejemplo 7.1.

EJEMPLO 7-1 Promedio móvil

Un supermercado ha experimentado una demanda semanal de leche de $D_1 = 120$, $D_2 = 127$, $D_3 = 114$, y $D_4 = 122$ galones durante las últimas cuatro semanas. Pronostique la demanda para el periodo 5 utilizando un promedio móvil de cuatro periodos. ¿Cuál es el error de pronóstico si la demanda en el periodo 5 resulta ser de 125 galones?

Análisis:

Hacemos el pronóstico para el periodo 5 al final del periodo 4. Por tanto, suponemos que el periodo actual es $t = 4$. Nuestro primer objetivo es estimar el nivel en el periodo 4. Utilizando la ecuación 7.9 con $N = 4$, obtenemos

$$L_4 = (D_4 + D_3 + D_2 + D_1)/4 = (122 + 114 + 127 + 120)/4 = 120.75$$

El pronóstico de la demanda para el periodo 5, utilizando la ecuación 7.10, se expresa como

$$F_5 = L_4 = 120.75 \text{ galones}$$

Como la demanda en el periodo 5, D_5, es de 125 galones, tenemos un error de pronóstico para el periodo 5 de

$$E_5 = F_5 - D_5 = 125 - 120.75 = 4.25$$

Después de observar la demanda en el periodo 5, la estimación revisada del nivel para el periodo 5 está dada por

$$L_5 = (D_5 + D_4 + D_3 + D_2)/4 = (125 + 122 + 114 + 127)/4 = 122$$

SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL SIMPLE El método de suavizamiento exponencial simple es apropiado cuando la demanda no tiene una tendencia o estacionalidad observable. En este caso.

$$\text{Componente sistemático} = \text{nivel}$$

Se considera la estimación inicial del nivel, L_0, como el promedio de todos los datos históricos ya que se ha supuesto que la demanda no tiene una tendencia o estacionalidad observable. Dados los datos de la demanda para los periodos 1 a n, tenemos lo siguiente:

$$L_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} D_i \tag{7.11}$$

El pronóstico actual para todos los periodos futuros es igual a la estimación actual del nivel y está dado como

$$F_{t+1} = L_t \quad \text{y} \quad F_{t+n} = L_t \tag{7.12}$$

Después de observar la demanda D_{t+1} para el periodo $t + 1$, revisamos la estimación del nivel como sigue:

$$L_{t+1} = \alpha D_{t+1} + (1 - \alpha)L_t \tag{7.13}$$

donde α es una constante de suavizamiento para el nivel, $0 < \alpha < 1$. El valor revisado del nivel es un promedio ponderado del valor observado del nivel (D_{t+1}) en el periodo $t + 1$ y la estimación antigua del nivel (L_t) en el periodo t. Con la ecuación 7.13 podemos expresar el nivel de un periodo dado como una función de la demanda actual y el nivel en el periodo anterior. Por tanto podemos reescribir la ecuación 7.13 como

$$L_{t+1} = \sum_{n=0}^{t-1} \alpha(1 - \alpha)^n D_{t+1-n} + (1 - \alpha)^t D_1$$

La estimación actual del nivel es un promedio ponderado de todas las observaciones pasadas de la demanda, con las observaciones recientes ponderadas más altas que las antiguas. Un valor alto de α corresponde a un pronóstico más sensible a las observaciones recientes, mientras que un valor bajo de α representa un pronóstico más estable y menos sensible a las observaciones recientes. Ilustramos el uso de la suavizamiento exponencial en el ejemplo 7-2.

EJEMPLO 7-2 Suavizamiento exponencial simple

Consideremos el supermercado del ejemplo 7-1, en el que la demanda semanal de leche ha sido $D_1 = 120$, $D_2 = 127$, $D_3 = 114$ y $D_4 = 122$ galones durante las últimas cuatro semanas. Pronostiquemos la demanda para el periodo 5 utilizando el suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.1$.

Análisis:

En este caso tenemos los datos de la demanda para $n = 4$ periodos. Utilizando la ecuación 7.11, la estimación inicial del nivel se expresa como

$$L_0 = \sum_{i=1}^{4} D_i/4 = 120.75$$

El pronóstico para el periodo 1 (utilizando la ecuación 7.12) está dado por

$$F_1 = L_0 = 120.75$$

La demanda observada para el periodo 1 es $D_t = 120$. El error de pronóstico para el periodo 1 está dado por

$$E_1 = F_1 - D_1 = 120.75 - 120 = 0.75$$

Con $\alpha = 0.1$, la estimación revisada del nivel para el periodo 1 empleando la ecuación 7.13 se expresa como

$$L_1 = \alpha D_1 + (1 - \alpha)L_0 = 0.1 \times 120 + 0.9 \times 120.75 = 120.68$$

Observemos que la estimación del nivel para el periodo 1 es menor que para el periodo 0 porque la demanda en el periodo 1 es menor que el pronóstico para el periodo 1. Por tanto obtenemos $F_2 = L_1 = 120.68$. Dado que $D_2 = 127$, obtenemos $L_2 = 0.1 \times 127 + 0.9 \times 120.68 = 121.31$. Esto da $F_3 = L_2 = 121.31$. Dado que $D_3 = 114$, obtenemos $L_3 = 0.1 \times 114 + 0.9 \times 121.31 = 120.58$. Esto da $F_4 = L_3 = 120.58$. Dado que $D_4 = 122$, obtenemos $L_4 = 0.1 \times 122 + 0.9 \times 120.58 = 120.72$. Esto da $F_5 = L_4 = 120.72$.

SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL CORREGIDO POR TENDENCIA (MODELO DE HOLT) El método de suavizamiento exponencial corregido por tendencia (modelo de Holt) es apropiado cuando se supone que la demanda tiene un nivel y una tendencia en el componente sistemático pero no estacionalidad. En este caso tenemos

Componente sistemático de la demanda = nivel + tendencia

Obtenemos una estimación inicial del nivel y la tendencia realizando una regresión lineal entre la demanda D_t y el periodo t de la forma

$$D_t = at + b$$

En este caso es apropiado realizar una regresión lineal entre la demanda y los periodos porque hemos asumido que la demanda tiene una tendencia pero no estacionalidad. Por tanto la relación subyacente entre la demanda y el tiempo es lineal. La constante b mide la estimación de la demanda en el periodo $t = 0$ y es nuestra estimación del nivel inicial L_0. La pendiente a mide la tasa de cambio de la demanda por periodo y es nuestra estimación inicial de la tendencia T_0.

En el periodo t, dadas las estimaciones del nivel L_t y la tendencia T_t, el pronóstico para periodos futuros se expresa como

$$F_{t+1} = L_t + T_t \quad \text{y} \quad F_{t+n} = L_t + nT_t \tag{7.14}$$

Después de observar la demanda para el periodo t, revisamos las estimaciones para el nivel y la tendencia como sigue:

$$L_{t+1} = \alpha D_{t+1} + (1 - \alpha)(L_t + T_t) \tag{7.15}$$

$$T_{t+1} = \beta(L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)T_t \tag{7.16}$$

donde α es una constante de suavizamiento para el nivel, $0 < \alpha < 1$, y β es una constante de suavizamiento para la tendencia $0 < \beta < 1$. Observemos que en cada una de las dos actualizaciones la estimación revisada (del nivel o tendencia) es un promedio ponderado del valor observado y la estimación antigua. En el ejemplo 7-3 ilustramos el uso del modelo de Holt.

EJEMPLO 7-3 Modelo de Holt

Un fabricante de aparatos electrónicos ha notado que la demanda de su reciente reproductor de MP3 se incrementó en los últimos seis meses. La demanda observada (en miles) ha sido $D_1 = 8{,}415$; $D_2 = 8{,}732$; $D_3 = 9{,}014$; $D_4 = 9{,}808$; $D_5 = 10{,}413$, y $D_6 = 11{,}961$. Pronostiquemos la demanda para el periodo 7 utilizando el suavizamiento exponencial corregido por tendencia con $\alpha = 0.1$ y $\beta = 0.2$.

Análisis:

El primer paso es obtener estimaciones iniciales del nivel y tendencia mediante regresión lineal. Primero realizamos una regresión lineal (utilizando la herramienta de Excel (Datos | Análisis de datos | Regresión) entre la demanda y los periodos. La estimación del nivel inicial L_0 se obtiene como el coeficiente de intercepción y la tendencia T_0 se obtiene como el coeficiente variable X (o la pendiente). Con los datos del reproductor MP3, obtenemos

$$L_0 = 7{,}367 \quad \text{y} \quad T_0 = 673$$

El pronóstico para el periodo 1 (utilizando la ecuación 7.14) es, por tanto

$$F_1 = L_0 + T_0 = 7{,}367 + 673 = 8{,}040$$

La demanda observada para el periodo 1 es $D_1 = 8{,}415$. El error para el periodo 1 es, por tanto

$$E_1 = F_1 - D_1 = 8{,}040 - 8{,}415 = -375$$

Con $\alpha = 0.1$, $= 0.2$, la estimación revisada del nivel y la tendencia para el periodo 1 utilizando las ecuaciones 7.15 y 7.16 están dadas por

$$L_1 = \alpha D_1 + (1 - \alpha)(L_0 + T_0) = 0.1 \times 8{,}415 + 0.9 \times 8{,}040 = 8{,}078$$

$$T_1 = \beta(L_1 - L_0) + (1 - \beta)T_0 = 0.2 \times (8{,}078 - 7{,}367) + 0.8 \times 673 = 681$$

Observemos que la estimación inicial de la demanda en el periodo 1 es demasiado baja. Como resultado, nuestras actualizaciones han incrementado la estimación del nivel L_1 para el periodo de 8,040 a 8,078

y la estimación de la tendencia de 673 a 681. Utilizando la ecuación 7.14, obtenemos el siguiente pronóstico para el periodo 2:

$$F_2 = L_1 + T_1 = 8{,}078 + 681 = 8{,}759$$

Continuando de esta manera, obtenemos $L_2 = 8{,}755$, $T_2 = 680$, $L_3 = 9{,}393$, $T_3 = 672$, $L_4 = 10{,}039$, $T_4 = 666$, $L_5 = 10{,}676$, $T_5 = 661$, $L_6 = 11{,}399$, $T_6 = 673$. Esto nos da un pronóstico para el periodo 7 de

$$F_7 = L_6 + T_6 = 11{,}399 + 673 = 12{,}072$$

SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL CORREGIDO POR TENDENCIA Y ESTACIONALIDAD (MODELO DE WINTER) Este método es apropiado cuando el componente sistemático de la demanda tiene un nivel, una tendencia y un factor estacional. En este caso tenemos

$$\text{Componente sistemático de la demanda} = (\text{nivel} + \text{tendencia}) \times \text{factor estacional}$$

Supongamos que la periodicidad de la demanda es p. Para empezar necesitamos las estimaciones iniciales del nivel (L_0), la tendencia (T_0) y los factores estacionales (S_1..., S_p). Obtenemos estas estimaciones empleando el procedimiento para el pronóstico estático ya antes descrito en el capítulo.

En el periodo t, dadas las estimaciones del nivel, del nivel, L_t, la tendencia, T_t, y los factores estacionales S_t,..., S_{t+p-1}, el pronóstico para periodos futuros está dado por

$$F_{t+1} = (L_t + T_t)S_{t+1} \quad \text{y} \quad F_{t+l} = (L_t + lT_t)S_{t+l} \qquad \textbf{(7.17)}$$

Al observar la demanda para el periodo $t + 1$ revisamos las estimaciones para el nivel, la tendencia y los factores estacionales como sigue:

$$L_{t+1} = \alpha(D_{t+1}/S_{t+1}) + (1 - \alpha)(L_t + T_t) \qquad \textbf{(7.18)}$$

$$T_{t+1} = \beta(L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)T_t \qquad \textbf{(7.19)}$$

$$S_{t+p+1} = \gamma(D_{t+1}/L_{t+1}) + (1 - \gamma)S_{t+1} \qquad \textbf{(7.20)}$$

donde α es una constante de suavizamiento para el nivel $0 < \alpha < 1$; β es una constante de suavimiento para la tendencia $0 < \beta < 1$; y γ es una constante de suavizamiento para el factor estacional $0 < \gamma < 1$. Observemos que en cada una de las actualizaciones (nivel, tendencia o factor estacional), la estimación revisada es un promedio ponderado del valor observado y la estimación anterior. En el ejemplo 7-4 ilustramos el uso del modelo de Winter.

EJEMPLO 7-4 Modelo de Winter

Consideremos los datos de la demanda de Tahoe Salt que aparecen en la tabla 7-1. Pronostiquemos la demanda para el periodo 1 utilizando el suavizamiento exponencial corregido por tendencia y estacionalidad con $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.2$, $\gamma = 0.1$.

Análisis

Obtenemos las estimaciones iniciales del nivel, la tendencia y los factores estacionales exactamente como en caso estático. Se expresan como sigue:

$$L_0 = 18{,}439 \quad T_0 = 524 \quad S_1 = 0.47 \quad S_2 = 0.68 \quad S_3 = 1.17 \quad S_4 = 1.67$$

El pronóstico para el periodo 1 (utilizando la ecuación 7.17) está dado por

$$F_1 = (L_0 + T_0)S_1 = (18{,}439 + 524)0.47 = 8{,}913$$

La demanda observada para el periodo 1 es $D_1 = 8{,}000$. El error de pronóstico para el periodo 1 es, por tanto

$$E_1 = F_1 - D_1 = 8{,}913 - 8{,}000 = 913$$

Con $\alpha = 0.1$, $= 0.2$ y $= 0.1$, la estimación revisada del nivel y tendencia para el periodo 1 y el factor estacional para el periodo 5, utilizando las ecuaciones 7.18, 7.19 y 7.20 están dadas por

$$L_1 = \alpha(D_1/S_1) + (1 - \alpha)(L_0 + T_0)$$

$$= 0.1 \times (8{,}000/0.47) + 0.9 \times (18{,}439 + 524) = 18{,}769$$

$$T_1 = \beta(L_1 - L_0) + (1 - \beta)T_0 = 0.2 \times (18{,}769 - 18{,}439) + 0.8 \times 524 = 485$$

$$S_5 = \gamma(D_1/L_1) + (1 - \gamma)S_1 = 0.1(8{,}000/18{,}769) + 0.9 \times 0.47 = 0.47$$

El pronóstico de la demanda para el periodo 2 (utilizando la ecuación 7.17) está dado por

$$F_2 = (L_1 + T_1)S_2 = (18{,}769 + 485)0.68 = 13{,}093$$

A continuación se dan los métodos de pronóstico que hemos analizado y las situaciones en que son aplicables generalmente:

Método de pronóstico	Aplicabilidad
Promedio móvil	Sin tendencia o estacionalidad
Suavizamiento exponencial simple	Sin tendencia o estacionalidad
Modelo de Holt	Tendencia pero no estacionalidad
Modelo de Winter	Tendencia y estacionalidad

Si Tahoe Salt utiliza un método de pronóstico adaptativo con los datos de ventas obtenidos de sus minoristas, el modelo de Winter es la mejor opción ya que su demanda experimenta tanto una tendencia como una estacionalidad.

Si no sabemos que Tahoe Salt experimenta tanto una tendencia como una estacionalidad, ¿cómo podemos indagarlo? El error de pronóstico ayuda a identificar los casos en que el método de pronóstico que se está utilizando es inapropiado. En la siguiente sección describimos cómo un gerente puede estimar y utilizar el error de pronóstico.

7.6 MEDIDAS DEL ERROR DE PRONÓSTICO

Como antes se dijo, cada caso de demanda tiene un componente aleatorio. Un buen método de pronóstico debe capturar el componente sistemático de la demanda pero no el aleatorio; éste se manifiesta en la forma de un error de pronóstico. Los errores de pronóstico contienen información valiosa y deben analizarse con cuidado por dos razones:

1. Los gerentes utilizan el análisis de error para determinar si el método de pronóstico actual predice con precisión el componente sistemático de la demanda. Por ejemplo, si un pronóstico produce de manera consistente un error positivo, el método de pronóstico está sobrestimando el componente sistemático y deberá corregirse.
2. Todos los planes de contingencia deben tener en cuenta el error de pronóstico. Consideremos una compañía de ventas por correo con dos proveedores. El primero está en el Lejano Oriente y tiene un tiempo de entrega de dos meses. El segundo es local y puede surtir pedidos en una semana, pero es más caro que el primero. La compañía desea contratar una cierta cantidad de capacidad de contingencia con el proveedor local que se utilizará si la demanda excede la cantidad que el proveedor del Lejano Oriente suministra. La decisión con respecto a la cantidad de la capacidad local que deberá contratarse está estrechamente vinculada al tamaño del error de pronóstico.

En tanto los errores observados estén dentro de las estimaciones de error históricas, las empresas pueden seguir utilizando su método de pronóstico actual. Encontrar un error que está más allá de las estimaciones históricas puede indicar que el método de pronóstico en uso ya no es apropiado o la demanda se ha modificado de manera consistente. Si todos los pronósticos de una compañía tienden consistentemente a sobrestimar o subestimar la demanda, esto puede ser otra señal de que la empresa debe cambiar los métodos de pronóstico.

Como ya antes se definió, el error de pronóstico para el periodo t está dado por E_t, donde se mantiene lo siguiente:

$$E_t = F_t - D_t$$

Es decir, el error en el periodo t es la diferencia entre el pronóstico para el periodo t y la demanda real en el mismo periodo. Es importante que un gerente estime el error de un pronóstico realizado por lo menos con una anticipación igual al tiempo de espera requerido, para que el gerente pueda emprender cualquier acción para la que se utilizará el pronóstico. Por ejemplo, si un pronóstico se utilizará para determinar el tamaño de un pedido y el tiempo de entrega del proveedor es de seis meses, un gerente debe estimar el error para un pronóstico realizado seis meses antes de que surja la demanda. En una situación con un tiempo de entrega de seis meses no tiene sentido estimar los errores de un pronóstico hecho con un mes de anticipación.

Una medida del error de pronóstico es el *error cuadrático medio* (MSE, *Mean Square Error*), donde lo siguiente se mantiene (el denominador de la ecuación 7.21 también puede tener $n - 1$ en lugar de n):

$$MSE_n = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} E_t^2 \tag{7.21}$$

El MSE puede relacionarse con la varianza del error de pronóstico. De hecho, estimamos que el componente aleatorio de la demanda tiene una media de 0 y una varianza de MSE. El MSE penaliza los errores grandes mucho más significativamente que los pequeños porque todos los errores se elevan al cuadrado. Por consiguiente, si seleccionamos métodos de pronóstico minimizando el MSE, se preferirá un método con una secuencia de error de pronóstico de 10, 12, 9 y 9 a un método con una secuencia de error de 1, 3, 2 y 20. Por tanto, una buena idea es utilizar el MSE para comparar métodos de pronóstico si el costo de un error grande es mucho mayor que la ganancia derivada de pronósticos muy precisos. Utilizar el MSE como una medida de error es apropiado cuando el error de pronóstico tiene una distribución simétrica en torno a cero.

Definamos la *desviación absoluta* en el periodo t, A_t, como el valor absoluto del error en el periodo t; esto es

$$A_t = |E_t|$$

Definamos la *desviación media absoluta* (MAD, *Mean Absolute Deviation*) como el promedio de la desviación absoluta en todos los periodos, expresada como

$$MAD_n = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} A_t \tag{7.22}$$

La MAD puede usarse para estimar la desviación estándar del componente aleatorio suponiendo que éste está normalmente distribuido. En este caso la desviación estándar del componente aleatorio es

$$\sigma = 1.25\ MAD \tag{7.23}$$

Luego estimamos que la media del componente aleatorio es 0, y la desviación estándar del componente aleatorio de la demanda es σ. La MAD es una mejor medida de error que el MSE si el error de pronóstico no tiene una distribución simétrica. Aun cuando la distribución del error sea simétrica, la MAD es una opción apropiada cuando se seleccionan métodos de pronóstico si el costo de un error de pronóstico es proporcional al tamaño del error.

El *error porcentual medio absoluto* (MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*) es el error absoluto promedio como un porcentaje de la demanda y está dado por

$$MAPE_n = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{E_t}{D_t}\right|100}{n} \tag{7.24}$$

EL MAPE es una buena medida del error de pronóstico cuando el pronóstico subyacente tiene una estacionalidad significativa y la demanda varía considerablemente de un periodo al siguiente. Consideremos un escenario donde se utilizan dos métodos para hacer pronósticos trimestrales de un producto con demanda estacional que alcanza su valor máximo en el tercer trimestre. El método 1 produce errores de pronóstico de 190, 200, 245 y 180; el método 2 produce errores de pronóstico de 100, 120, 500 y 100 en cuatro trimestres.

El método 1 tiene un MSE y MAD menores con respecto al método 2 y se preferiría si se utilizara cualquiera de los dos criterios. Sin embargo, si la demanda es altamente estacional y promedia 1,000, 1,200, 4,800 y 1,100 en los cuatro periodos, el método 2 produce un MAPE = 9.9%, mientras que el método 1 produce un MAPE = 14.3%. En este caso se puede argumentar que debe preferirse el método 2 al método 1.

Cuando un método de pronóstico deja de reflejar el patrón de demanda subyacente (por ejemplo, si la demanda se reduce considerablemente (como lo hizo en la industria automotriz en 2008/2009), es improbable que los errores de pronóstico estén aleatoriamente distribuidos en torno a 0. En general necesitamos un método para rastrear y controlar el método de pronóstico. Un método es utilizar la suma de los errores de pronóstico para evaluar el *sesgo* donde prevalece lo siguiente:

$$sesgo_n = \sum_{t=1}^{n} E_t \quad \textbf{(7.25)}$$

El sesgo fluctuará alrededor de cero si el error es verdaderamente aleatorio y no sesgado hacia un lado o el otro. Idealmente, si graficamos todos los errores, la pendiente de una línea recta que pase por ellos deberá ser 0.

La *señal de rastreo* (TS, *Tracking Signal*) es el cociente del sesgo y desviación media absoluta (MAD) y está dada por

$$TS_t = \frac{sesgo_t}{MAD_t} \quad \textbf{(7.26)}$$

Si la señal de rastreo en cualquier periodo está afuera del rango ±6, esto es una señal de que el pronóstico está sesgado y subpronosticado ($TS < 6$) o sobrepronosticado ($TS > 6$). Esto puede suceder porque el método de pronóstico tiene puntos débiles o el patrón subyacente de la demanda ha cambiado. Un caso en el que resultará una gran señal de rastreo (TS) negativa ocurre cuando la demanda tiene una tendencia de crecimiento y el gerente está utilizando un método de pronóstico como el de promedio móvil. Debido a que no se incluye la tendencia, el promedio de la demanda histórica siempre es menor que la demanda futura. La señal de rastreo negativa detecta que el método de pronóstico subestima de manera consistente la demanda y eso alerta al gerente.

La señal de rastreo también puede hacerse grande cuando la demanda se reduce repentinamente (como lo hizo en muchas industrias en 2009) o incrementarse en una cantidad significativa, lo que hace que los datos históricos sean menos relevantes. Si la demanda se redujo repentinamente, tiene sentido incrementar el peso de los datos actuales en relación con los datos antiguos cuando se hacen pronósticos. McClain (1981) recomienda el método "alfa declinante" cuando se utiliza suavizamiento exponencial donde la constante de suavizamiento comienza a crecer (para dar mayor peso a los datos recientes) pero luego se reduce con el tiempo. Si buscamos una constante de suavizamiento de largo plazo de $\alpha = 1 - \rho$, un método alfa declinante sería iniciar con $\alpha_0 = 1$ y restablecer la constante de suavizamiento como sigue:

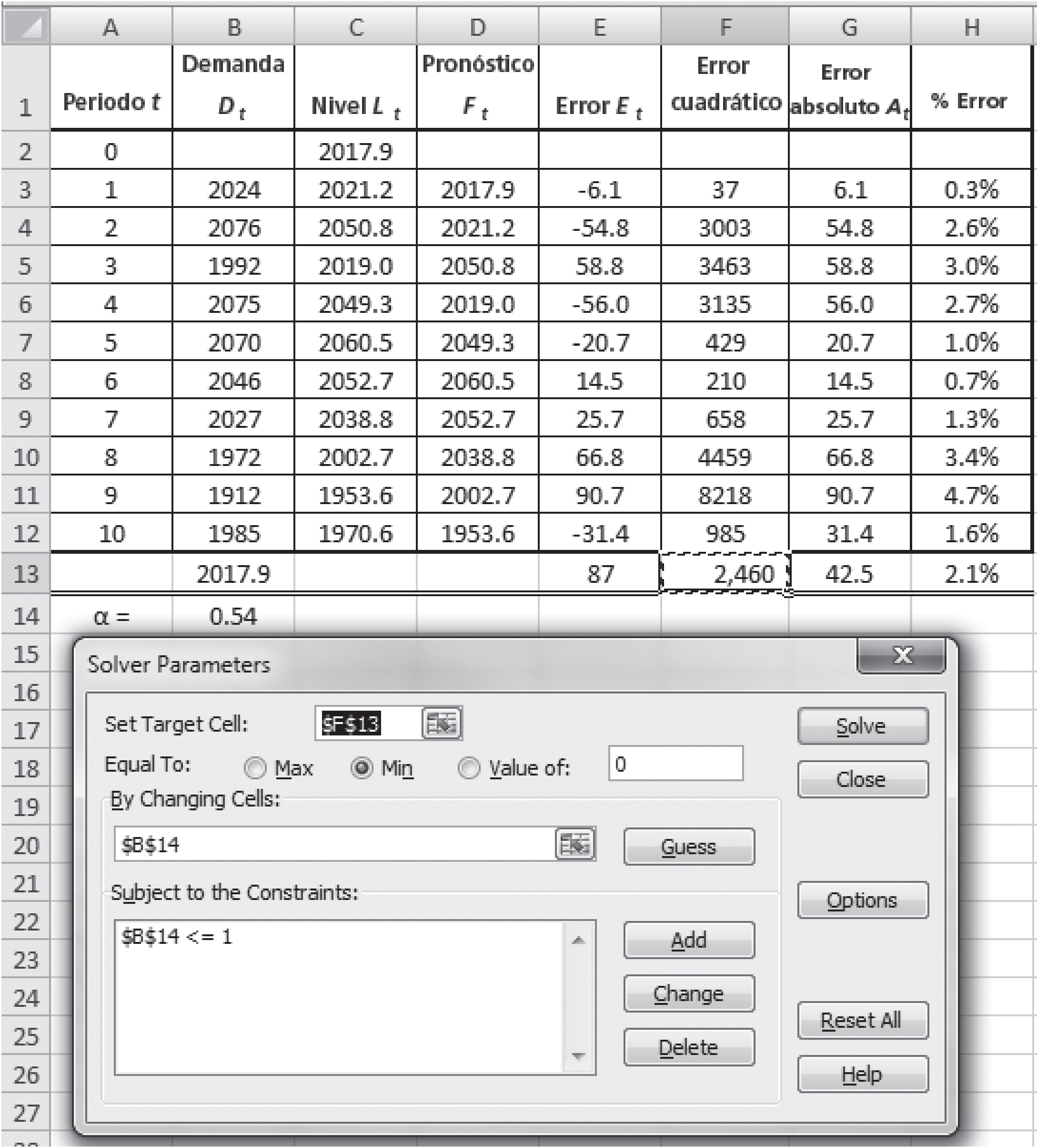
$$\alpha_t = \frac{\alpha_{t-1}}{\rho + \alpha_{t-1}} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^t}$$

En el largo plazo la constante de suavizamiento convergerá a $\alpha = 1 - \rho$ y los pronósticos se vuelven más estables con el tiempo.

7.7 SELECCIÓN DE LA MEJOR CONSTANTE DE SUAVIZAMIENTO

Cuando se utiliza el suavizamiento exponencial, el valor de la constante de suavizamiento seleccionada tiene un impacto directo en la sensibilidad del pronóstico ante los datos recientes. Si un gerente tiene una buena idea del patrón de la demanda subyacente, es mejor utilizar una constante de suavizamiento de no más de 0.2. En general, es mejor seleccionar constantes de suavizamiento que minimicen el término de error con el que el gerente se sienta más cómodo de entre el MSE, la MAD y el MAPE. Sin preferencia entre los términos de error, es mejor seleccionar constantes de suavizamiento que minimicen el MSE.

Ilustramos el impacto de seleccionar constantes de suavizamiento que minimicen las diferentes medidas de error utilizando los datos de demanda de 10 periodos que se muestran en las celdas B3:B12 de la figura 7-5. El nivel inicial se estima con la ecuación 7-11 y se muestra en la celda C2. La constante de suavizamiento α se obtiene con Solver minimizando el error cuadrático medio MSE (celda F13) al final de los 10



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Periodo t	Demanda D_t	Nivel L_t	Pronóstico F_t	Error E_t	Error cuadrático	Error absoluto A_t	% Error
2	0		2017.9					
3	1	2024	2021.2	2017.9	-6.1	37	6.1	0.3%
4	2	2076	2050.8	2021.2	-54.8	3003	54.8	2.6%
5	3	1992	2019.0	2050.8	58.8	3463	58.8	3.0%
6	4	2075	2049.3	2019.0	-56.0	3135	56.0	2.7%
7	5	2070	2060.5	2049.3	-20.7	429	20.7	1.0%
8	6	2046	2052.7	2060.5	14.5	210	14.5	0.7%
9	7	2027	2038.8	2052.7	25.7	658	25.7	1.3%
10	8	1972	2002.7	2038.8	66.8	4459	66.8	3.4%
11	9	1912	1953.6	2002.7	90.7	8218	90.7	4.7%
12	10	1985	1970.6	1953.6	-31.4	985	31.4	1.6%
13		2017.9			87	2,460	42.5	2.1%
14	α =	0.54						

FIGURA 7-5 Selección de la constante de suavizamiento minimizando el MSE.

periodos, como se muestra en la figura 7-5. El pronóstico que se muestra en la figura 7-5 utiliza la $\alpha = 0.54$ resultante y da MSE = 2,460, MAD = 42.5 y MAPE = 2.1%.

La constante de suavizamiento también puede seleccionarse con Solver minimizando la MAD o el MAPE al final de los 10 periodos. En la figura 7-6, que muestra los resultados de minimizar la MAD (celda G13). Los pronósticos y errores con la $\alpha = 0.32$ resultante se muestran en la figura 7-6. En este caso, el MSE se incrementa a 2,570 (en comparación con 2,460 en la figura 7-5), mientras que la MAD se reduce a 39.2 (en comparación con 42.5 en la figura 7-5) y el MAPE se reduce en 2.0% (en comparación con 2.1% en la figura 7-5). La diferencia más importante entre los dos pronósticos ocurre en el periodo 9 (el que tiene el error más grande y que se muestra en la celda D11), donde la minimización de la MSE selecciona una constante de suavizamiento que reduce los errores grandes, mientras que la minimización de la MAD selecciona una constante de suavizamiento que da un peso igual a la reducción de todos los errores aun cuando los errores grandes se hagan un poco más grandes.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Periodo t	Demanda D_t	Nivel L_t	Pronóstico F_t	Error E_t	Error cuadrático	Error absoluto A_t	% Error
2	0		2017.9					
3	1	2024	2019.8	2017.9	-6.1	37	6.1	0.3%
4	2	2076	2037.8	2019.8	-56.2	3153	56.2	2.7%
5	3	1992	2023.2	2037.8	45.8	2097	45.8	2.3%
6	4	2075	2039.7	2023.2	-51.8	2687	51.8	2.5%
7	5	2070	2049.4	2039.7	-30.3	916	30.3	1.5%
8	6	2046	2048.3	2049.4	3.4	12	3.4	0.2%
9	7	2027	2041.5	2048.3	21.3	454	21.3	1.1%
10	8	1972	2019.3	2041.5	69.5	4831	69.5	3.5%
11	9	1912	1985.0	2019.3	107.3	11511	107.3	5.6%
12	10	1985	1985.0	1985.0	0.0	0	0.0	0.0%
13		2017.9			103	2,570	39.2	2.0%
14	α =	0.32						

Solver Parameters

Set Target Cell: $G$13

Equal To: Max Min Value of: 0

By Changing Cells: $B$14

Subject to the Constraints: $B$14 <= 1

Solve Close Guess Options Add Change Delete Reset All Help

FIGURA 7-6 Selección de la constante de suavizamiento minimizando la MAD.

En general, no es una buena idea utilizar constantes de suavizamiento mucho más grandes que 0.2 durante largos periodos. Se puede justificar una constante de suavizamiento grande durante un tiempo corto cuando la demanda está en transición; sin embargo, en general, debe evitarse durante tiempos extensos.

7.8 PRONÓSTICO DE LA DEMANDA EN TAHOE SALT

Recordemos el ejemplo de Tahoe Salt con la demanda histórica de los clientes de sus minoristas que se muestra en la tabla 7-1. Los datos de la demanda también se muestran en la columna B de la figura 7-7. En la actualidad Tahoe Salt está negociando contratos con proveedores para los cuatro trimestres entre el segundo trimestre del año 4 y el primer trimestre del año 5. Un importante dato de entrada en esta negociación es el pronóstico de la demanda que Tahoe Salt y sus minoristas están construyendo en forma conjunta. Han asignado

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Periodo t	Demanda D_t	Nivel L_t	Pronóstico F_t	Error E_t	Error absoluto A_t	Error cuadrático MSE_t	Error cuadrático MSE_t	% Error	$MAPE_t$	TS_t
2	1	8,000									
3	2	13,000									
4	3	23,000									
5	4	34,000	19,500								
6	5	10,000	20,000	19,500	9,500	9,500	90,250,000	9,500	95	95	1.00
7	6	18,000	21,250	20,000	2,000	2,000	47,125,000	5,750	11	53	2.00
8	7	23,000	21,250	21,250	-1,750	1,750	32,437,500	4,417	8	38	2.21
9	8	38,000	22,250	21,250	-16,750	16,750	94,468,750	7,500	44	39	-0.93
10	9	12,000	22,750	22,250	10,250	10,250	96,587,500	8,050	85	49	0.40
11	10	13,000	21,500	22,750	9,750	9,750	96,333,333	8,333	75	53	1.56
12	11	32,000	23,750	21,500	-10,500	10,500	98,321,429	8,643	33	50	0.29
13	12	41,000	24,500	23,750	-17,250	17,250	123,226,563	9,719	42	49	-1.52

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
C5	=Average(B2:B5)	7.9	C6:C13
D6	=C5	7.10	D7:D13
E6	=D6-B6	7.8	E7:E13
F6	=Abs(E6)		F7:F13
G6	=Sumsq($E$6:E6)/(A6-4)	7.21	G7:G13
H6	=Sum($F$6:F6)/(A6-4)	7.22	H7:H13
I6	=100*(F6/B6)		I7:I13
J6	=Average($I$6:I6)	7.24	J7:J13
K6	=Sum($E$6:E6)/ H6	7.26	K7:K13

FIGURA 7-7 Pronósticos de Tahoe Salt utilizando el promedio móvil de cuatro periodos.

un equipo compuesto de dos gerentes de ventas de los minoristas y el vicepresidente de operaciones de Tahoe Salt para que se llegue a este pronóstico. El equipo decide aplicar a los datos históricos cada uno de los métodos adaptativos estudiados en este capítulo. El objetivo es seleccionar el método más apropiado y luego utilizarlo para pronosticar la demanda para los siguientes cuatro trimestres. El equipo decide seleccionar un método de pronóstico basado en los errores que resultan cuando se utiliza cada uno de los métodos en los 12 trimestres de datos de demanda históricos.

En este caso la demanda tiene claramente tanto una tendencia como una estacionalidad en el componente sistemático. Por tanto, el equipo espera que el modelo de Winter produzca el mejor pronóstico.

Promedio móvil

En principio, el equipo de pronósticos decide someter a prueba un promedio móvil de cuatro periodos para el pronóstico. Todos los cálculos se muestran en la figura 7-7 y se analizan en la sección sobre el método de promedio móvil en este capítulo. El equipo utiliza la ecuación 7.9 para estimar el nivel y la ecuación 7.10 para pronosticar la demanda.

Como se indica en la columna K de la figura 7-7, la señal de rastreo se encuentra dentro del rango ±6, lo cual indica que el pronóstico que utiliza el promedio móvil de cuatro periodos no contiene ningún sesgo significativo. Sin embargo, tiene una MAD_{12} bastante grande de 9,719 con un $MAPE_{12}$ de 49%. En la figura 7-7, observamos que

$$L_{12} = 24{,}500$$

Por tanto, con un promedio móvil de cuatro periodos, el pronóstico para los periodos 13 a 16 (utilizando la ecuación 7.10) se expresa como

$$F_{13} = F_{14} = F_{15} = F_{16} = L_{12} = 24{,}500$$

Dado que la MAD_{12} es de 9,719 la estimación de la desviación estándar del error de pronóstico, utilizando un promedio móvil de cuatro periodos, es de 1.25 × 9,719 = 12,148. En este caso la desviación estándar del pronóstico de error es bastante grande en relación con el tamaño del pronóstico.

Suavizamiento exponencial simple

A continuación el equipo utiliza un método de suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.1$ para pronosticar la demanda. Este método también se somete a prueba en los 12 trimestres de datos históricos. Con la ecuación 7.11 el equipo estima el nivel inicial para el periodo 0 como la demanda promedio para los periodos 1 a 12. El nivel inicial es el promedio de los datos de demanda introducidos en las celdas B3 a B14 en la figura 7-8 y el resultado es

$$L_0 = 22{,}083$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Periodo t	Demanda D_t	Nivel L_t	Pronóstico F_t	Error E_t	Error absoluto A_t	Error cuadrático MSE_t	Error cuadrático MSE_t	% Error	$MAPE_t$	TS_t
2	0		22,083								
3	1	8,000	20,675	22,083	14,083	14,083	198,340,278	14,083	176	176	1
4	2	13,000	19,908	20,675	7,675	7,675	128,622,951	10,879	59	118	2
5	3	23,000	20,217	19,908	-3,093	3,093	88,936,486	8,284	13	83	2
6	4	34,000	21,595	20,217	-13,783	13,783	114,196,860	9,659	41	72	0.51
7	5	10,000	20,436	21,595	11,595	11,595	118,246,641	10,046	116	81	1.64
8	6	18,000	20,192	20,436	2,436	2,436	99,527,532	8,777	14	70	2.15
9	7	23,000	20,473	20,192	-2,808	2,808	86,435,714	7,925	12	62	2.03
10	8	38,000	22,226	20,473	-17,527	17,527	114,031,550	9,125	46	60	-0.16
11	9	12,000	21,203	22,226	10,226	10,226	112,979,315	9,247	85	62	0.95
12	10	13,000	20,383	21,203	8,203	8,203	108,410,265	9,143	63	63	1.86
13	11	32,000	21,544	20,383	-11,617	11,617	110,824,074	9,368	36	60	0.58
14	12	41,000	23,490	21,544	-19,456	19,456	133,132,065	10,208	47	59	-1.38

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
C3	=0.1*B3+(1-0.1)*C2	7.13	C4:C14
D3	=C2	7.12	D4:D14
E3	=D3-B3	7.8	E4:E14
F3	=Abs(E3)		F4:F14
G3	=Sumsq($E$3:E3)/A3	7.21	G4:G14
H3	=Sum($G$3:G3)/A3	7.22	H4:H14
I3	=100*(F3/B3)		I4:I14
J3	=Average($I$3:I3)	7.24	J4:J14
K3	=Sum($F$3:F3)/H3	7.26	K4:K14

FIGURA 7-8 Pronósticos de Tahoe Salt utilizando el método de suavizamiento exponencial simple.

El equipo utiliza luego la ecuación 7.12 para pronosticar la demanda para el periodo siguiente. La estimación del nivel se actualiza cada periodo utilizando la ecuación 7.13. Los resultados se muestran en la figura 7-8.

Como lo indica la TS, la cual varía de −1.38 a 2.15, el pronóstico utilizando suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.1$ no indica ningún sesgo significativo. Sin embargo, tiene una MAD_{12} bastante grande de 10,208 con un $MAPE_{12}$ DE 59%. En la figura 7-8, observamos que

$$L_{12} = 23{,}490$$

Por tanto, el pronóstico para los siguientes cuatro trimestres (utilizando la ecuación 7.12) es

$$F_{13} = F_{14} = F_{15} = F_{16} = L_{12} = 23{,}490$$

En este caso, la MAD_{12} es de 10,208 y el $MAPE_{12}$ es de 59%. Por tanto, la estimación de la desviación estándar del error de pronóstico utilizando suavizamiento exponencial simple es 1.25 × 10,208 = 12, 761. En este caso, la desviación estándar del error de pronóstico es bastante grande con respecto al tamaño del pronóstico.

Suavizamiento exponencial corregido por tendencia (modelo de Holt)

El equipo a continuación investiga el uso del modelo de Holt. En este caso el componente sistemático de la demanda es

$$\text{Componente sistemático de la demanda} = \text{nivel} + \text{tendencia}$$

El equipo aplica la metodología antes analizada. Como un primer paso, estima el nivel en el periodo 0 y la tendencia inicial. Como se describió en el ejemplo 7-3, esta estimación se obtiene realizando una regresión lineal entre la demanda D_t, y tiempo, periodo t. Con la regresión de los datos disponibles, el equipo obtiene lo siguiente:

$$L_0 = 12{,}015 \quad \text{y} \quad T_0 = 1{,}549$$

El equipo aplica ahora el modelo de Holt con $\alpha = 0.1$ y $= 0.2$ para obtener los pronósticos para cada uno de los 12 trimestres para los cuales están disponibles los datos de la demanda. Hacen el pronóstico con la ecuación 7.14, actualizan el nivel con la ecuación 7.15 y la tendencia con la ecuación 7.16. Los resultados se muestran en la figura 7-9.

Como lo indica una TS que varía de −2.15 a 2.00, el suavizamiento exponencial corregido por tendencia con $\alpha = 0.1$ y $= 0.2$ no parece que sobre o subpronostique de manera significativa. Sin embargo, el pronóstico tiene una MAD_{12} bastante grande de 8,836 con un $MAPE_{12}$ de 52%. En la figura 7-9 observamos que

$$L_{12} = 30{,}443 \quad \text{y} \quad T_{12} = 1{,}541$$

Por tanto, utilizando el modelo de Holt (ecuación 7.14), el pronóstico para los siguientes cuatro periodos se expresa como sigue:[1]

$$F_{13} = L_{12} + T_{12} = 30{,}443 + 1{,}541 = 31{,}984$$
$$F_{14} = L_{12} + 2T_{12} = 30{,}443 + 2 \times 1{,}541 = 33{,}525$$
$$F_{15} = L_{12} + 3T_{12} = 30{,}443 + 3 \times 1{,}541 = 35{,}066$$
$$F_{16} = L_{12} + 4T_{12} = 30{,}443 + 4 \times 1{,}541 = 36{,}607$$

Aquí, la $MAD_{12} = 8{,}836$. Por tanto, la estimación de la desviación estándar del error de pronóstico utilizando el modelo de Holt con $\alpha = 0.1$ y $= 0.2$ es 1.25×8,836 = 11,405. En este caso, la desviación estándar del error de pronóstico con respecto al tamaño del pronóstico es un poco más pequeño de lo que fue con los dos métodos anteriores; sin embargo, sigue siendo bastante grande.

[1] Como resultado del redondeo, los cálculos realizados con sólo dígitos significativos mostrados en el texto pueden dar un resultado diferente. Éste es el caso en todo el libro.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Periodo t	Demanda D_t	Nivel L_t	Pronóstico F_t	Pronóstico F_t	Error E_t	Error absoluto A_t	Error cuadrático MSE_t	Error cuadrático MSE_t	% Error	$MAPE_t$	TS_t
2	0		12,015	1,549								
3	1	8,000	13,008	1,438	13,564	5,564	5,564	30,958,096	5,564	70	70	1
4	2	13,000	14,301	1,409	14,445	1,445	1,445	16,523,523	3,505	11	40	2
5	3	23,000	16,439	1,555	15,710	-7,290	7,290	28,732,318	4,767	32	37	0
6	4	34,000	19,594	1,875	17,993	-16,007	16,007	85,603,146	7,577	47	39.86	-2.15
7	5	10,000	20,322	1,645	21,469	11,469	11,469	94,788,701	8,355	115	54.83	-0.58
8	6	18,000	21,570	1,566	21,967	3,967	3,967	81,613,705	7,624	22	49.36	-0.11
9	7	23,000	23,123	1,563	23,137	137	137	69,957,267	6,554	1	42.39	-0.11
10	8	38,000	26,018	1,830	24,686	-13,314	13,314	83,369,836	7,399	35	41.48	-1.90
11	9	12,000	26,262	1,513	27,847	15,847	15,847	102,010,079	8,338	132	51.54	0.22
12	10	13,000	26,298	1,217	27,775	14,775	14,775	113,639,348	8,981	114	57.75	1.85
13	11	32,000	27,963	1,307	27,515	-4,485	4,485	105,137,395	8,573	14	53.78	1.41
14	12	41,000	30,443	1,541	29,270	-11,730	11,730	107,841,864	8,836	29	51.68	0.04

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
C3	=0.1*B3+(1-0.1)*(C2+D2)	7.15	C4:C14
D3	=0.2(C3-C2)+(1-0.2)D2	7.16	D4:D14
E3	=C2+D2	7.14	E4:E14
F3	=E3-B3	7.8	F4:F14
G3	=Abs(F3)		G4:G14
H3	=Sumsq($F$3:F3)/A3	7.21	H4:H14
I3	=Sum($G$3:G3)/A3	7.22	I4:I14
J3	=100*(G3/B3)		J4:J14
K3	=Average($J$3:J3)	7.24	K4:K14
L3	=Sum($F$3:F3)/I3	7.26	L4:L14

FIGURA 7-9 Suavizamiento exponencial corregido por tendencia.

Suavizamiento exponencial corregido por tendencia y estacionalidad (modelo de Winter)

A continuación el equipo investiga el uso del modelo de Winter para hacer el pronóstico. Como un primer paso, estima el nivel y tendencia para el periodo 0, y los factores estacionales para los periodos 1 a $p = 4$. Para comenzar, la demanda se desestacionaliza. Luego el equipo estima el nivel inicial y tendencia realizando una regresión entre la demanda desestacionalizada y el tiempo. Esta información se utiliza para estimar los factores estacionales. Con los datos de la demanda que aparecen en la figura 7-2, como se vio en el ejemplo 7-4, el equipo obtiene lo siguiente:

$$L_0 = 18{,}439 \quad T_0 = 524 \quad S_1 = 0.47 \quad S_2 = 0.68 \quad S_3 = 1.17 \quad S_4 = 1.67$$

Luego aplica el modelo de Winter con $\alpha = 0.05$, $= 0.1$, $= 0.1$ para obtener los pronósticos. Todos los cálculos se muestran en la figura 7.10. El equipo hace pronósticos con la ecuación 7.17, actualiza el nivel con la ecuación 7.18, actualiza la tendencia con la ecuación 7.19, y actualiza los factores estacionales con la ecuación 7.20.

En este caso la MAD de 1,469 y el MAPE de 8% son significativamente menores que con cualquiera de los demás métodos. En la figura 7-10, observamos que

$$L_{12} = 24{,}791 \quad T_{12} = 532 \quad S_{13} = 0.47 \quad S_{14} = 0.68 \quad S_{15} = 1.17 \quad S_{16} = 1.67$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Periodo *t*	Demanda D_t	Nivel L_t	Tendencia T_t	Factor estacional S_t	Factor estacional S_t	Error E_t	Error absoluto A_t	Error cuadrático medio MSE_t	MAD_t	% Error	$MAPE_t$	TS_t
2			**18,439**	**524**									
3	1	8,000	18,866	514	**0.47**	8,913	913	913	832,857	913	11	11.41	1.00
4	2	13,000	19,367	513	**0.68**	13,179	179	179	432,367	546	1	6.39	2.00
5	3	23,000	19,869	512	**1.17**	23,260	260	260	310,720	450	1	4.64	3.00
6	4	34,000	20,380	512	**1.67**	34,036	36	36	233,364	347	0	3.50	4.00
7	5	10,000	20,921	515	0.47	9,723	-277	277	202,036	333	3	3.36	3.34
8	6	18,000	21,689	540	0.68	14,558	-3,442	3,442	2,143,255	851	19	5.98	-2.74
9	7	23,000	22,102	527	1.17	25,981	2,981	2,981	3,106,508	1,155	13	6.98	0.56
10	8	38,000	22,636	528	1.67	37,787	-213	213	2,723,856	1,037	1	6.18	0.42
11	9	12,000	23,291	541	0.47	10,810	-1,190	1,190	2,578,653	1,054	10	6.59	-0.72
12	10	13,000	23,577	515	0.69	16,544	3,544	3,544	3,576,894	1,303	27	8.66	2.14
13	11	32,000	24,271	533	1.16	27,849	-4,151	4,151	4,818,258	1,562	13	9.05	-0.87
14	12	41,000	24,791	532	1.67	41,442	442	442	4,432,987	1,469	1	8.39	-0.63
15	13				0.47	11,940							
16	14				0.68	17,579							
17	15				1.17	30,930							
18	16				1.67	44,928							

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
C3	=0.05*(B3/E3)+(1-0.05)*(C2+D2)	7.18	C4:C14
D3	=0.1*(C3-C2)+(1-0.1)*D2	7.19	D4:D14
E7	=0.1*(B3/C3)+(1-0.1)*E3	7.20	E8:E18
F3	=(C2+D2)*E3	7.17	F4:F18
G3	=F3-B3	7.8	G4:G14
H3	=Abs(G3)		H4:H14
I3	=Sumsq($G$3:G3)/A3	7.21	I4:I14
J3	=Sum($H$3:H3)/A3	7.22	J4:J14
K3	=100*(H3/B3)		K4:K14
L3	=Average($K$3:K3)	7.24	L4:L14
M3	=Sum($G$3:G3)/J3	7.26	M4:M14

FIGURA 7-10 Suavizamiento exponencial corregido por tendencia y estacionalidad.

Con el uso del modelo de Winter (ecuación 7.17), el pronóstico para los siguientes cuatro periodos es

$$F_{13} = (L_{12} + T_{12})S_{13} = (24{,}791 + 532) \times 0.47 = 11{,}940$$
$$F_{14} = (L_{12} + 2T_{12})S_{14} = (24{,}791 + 2 \times 532) \times 0.68 = 17{,}579$$
$$F_{15} = (L_{12} + 3T_{12})S_{15} = (24{,}791 + 3 \times 532) \times 1.17 = 30{,}930$$
$$F_{16} = (L_{12} + 4T_{12})S_{16} = (24{,}791 + 4 \times 532) \times 1.67 = 44{,}928$$

En este caso la $MAD_{12} = 1{,}469$. Por tanto, la estimación de la desviación estándar del error de pronóstico utilizando el modelo de Winter con $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.1$, y $\gamma = 0.1$ es $1.25 \times 1{,}469 = 1{,}836$, de modo que la desviación estándar del error de pronóstico con respecto al pronóstico de la demanda es mucho menor que con los demás métodos.

El equipo compila las estimaciones de error de los cuatro métodos de pronóstico como se muestra en la tabla 7-2.

Basado en la información del error que aparece en la tabla 7-2, el equipo decide utilizar el modelo de Winter. No es de sorprender que el modelo de Winter produzca el pronóstico más preciso, ya que los datos

Tabla 7-2 Estimaciones de error en los pronósticos de Tahoe Salt

Método de pronóstico	MAD	MAPE (%)	Rango de TS
Promedio móvil de cuatro periodos	9,719	49	−1.52 a 2.21
Suavizamiento exponencial simple	10,208	59	−1.38 a 2.15
Modelo de Holt	8,836	52	−2.15 a 2.00
Modelo de Winter	1,469	8	−2.74 a 4.00

de la demanda tienen tanto una tendencia de crecimiento como una estacionalidad. Con el uso del método de Winter el equipo pronostica la siguiente demanda para los cuatro trimestres venideros:

Segundo trimestre, año 4: 11,940

Tercer trimestre, año 4: 17,579

Cuarto trimestre, año 4: 30,930

Primer trimestre, año 5: 44,928

La desviación estándar del pronóstico de error es 1,836.

7.9 EL ROL DE LA TI EN EL PRONÓSTICO

Existe un rol natural para la TI en el pronóstico, dada la gran cantidad de datos implicados, la frecuencia con la cual se lleva a cabo el pronóstico, y la importancia de obtener los resultados de la más alta calidad posible. El módulo de pronóstico en un sistema de TI de la cadena de suministro, con frecuencia llamado *módulo de planeación de la demanda* es un producto de software central de la cadena de suministro. La utilización de las capacidades de la TI en el pronóstico tiene varias ventajas importantes.

Los módulos comerciales de planeación de la demanda vienen con una variedad de algoritmos de pronóstico, los cuales pueden ser bastante avanzados y en ocasiones son patentados. Estas metodologías suelen entregar un pronóstico más preciso que el producido con el uso de un paquete general como Excel. La mayoría de las aplicaciones de planeación de la demanda hacen que sea bastante fácil probar los diversos algoritmos de pronóstico contra datos históricos para determinar el que mejor se ajuste a los patrones de la demanda observados. La disponibilidad de varias opciones de pronóstico es importante debido a que los diferentes algoritmos de pronóstico proporcionan diferentes niveles de calidad dependiendo de los patrones de la demanda real. Por tanto se puede emplear el sistema de TI para determinar mejor los métodos de pronóstico no sólo para toda la compañía, sino también por categorías de producto y mercados.

Un buen paquete de pronóstico proporciona pronósticos a través de una amplia variedad de productos actualizados en tiempo real al incorporar cualquier nueva información sobre la demanda. Esto ayuda a las empresas a responder con más rapidez a los cambios en el mercado y a evitar los costos de una reacción tardía. Los buenos módulos de planeación de la demanda se vinculan no sólo a los pedidos de los clientes sino también directamente a la información de ventas al cliente, y por tanto incorporan los datos más actuales al pronóstico de la demanda. Mucho del progreso en áreas como la planeación colaborativa se debe a las innovaciones de la TI que permiten el intercambio e incorporación de los pronósticos entre compañías.

Por último, como el nombre *planeación de la demanda* lo sugiere, estos módulos facilitan la determinación de la demanda. Los buenos módulos de planeación de la demanda contienen herramientas para analizar el impacto de cambios potenciales de los precios en la demanda. Estas herramientas ayudan a analizar el impacto de promociones en la demanda y se pueden usar para determinar la extensión y coordinación del tiempo de las promociones. Este vínculo se analiza con más detalle en el capítulo 4 bajo el tema de planeación de ventas y operaciones.

Tengamos en cuenta que ninguna de estas herramientas es infalible. Los pronósticos casi siempre son imprecisos. Un buen sistema de TI debe ayudar a dar seguimiento a errores de pronóstico históricos para poderlos incorporar a decisiones futuras. Un pronóstico bien estructurado, junto con una medida de error,

puede mejorar significativamente la toma de decisiones. Incluso con todas estas herramientas complejas, a veces es mejor confiar en la intuición humana al realizar un pronóstico. Uno de los inconvenientes de estas herramientas de TI es depender demasiado de ellas, lo cual elimina el elemento humano en el pronóstico. Utilicemos los pronósticos y el valor que proporcionan, pero recordemos que no son capaces de valorar algunos de los aspectos más cualitativos de la demanda futura que podríamos valorar por nuestra cuenta.

Están disponibles módulos de pronóstico en la mayoría de las principales compañías de software de cadena de suministro, incluyendo las empresas de ERP como SAP y Oracle. Varias empresas de software de análisis estadístico, entre ellas SAS Y SPSS, ofrecen programas que se pueden usar para pronosticar. En OR/MS se reporta una lista detallada de vendedores de software de pronóstico. Una encuesta de software de pronosticos actual y una exposición de cada vendedor están disponibles en http://www.lionhrtpub.com/orms/survey/FSS/fss-fr.html.

7.10 ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS EN EL PRONÓSTICO

Cuando se planifica para el futuro deben considerarse los riesgos asociados con el error de pronóstico. Los errores en el pronóstico pueden dar lugar a una mala asignación de los recursos en el inventario, las instalaciones, el transporte, el aprovisionamiento, los precios, e incluso en la administración de la información. Los errores de pronóstico durante el diseño de una red pueden hacer que se construyan muchas instalaciones, pocas o inadecuadas. Los planes se determinar a partir de pronósticos, así que los planes reales de inventario, producción, transporte, aprovisionamiento y de fijación de precios que una compañía produce y sigue dependen de pronósticos precisos. Incluso a nivel de operaciones, los pronósticos desempeñan un papel en las actividades diarias reales que se realizan en una compañía. Como uno de los procesos iniciales en cada una de estas fases que afecta muchos otros procesos, el pronóstico contiene una cantidad considerable de riesgo inherente.

Una amplia variedad de factores puede hacer que un pronóstico sea impreciso, pero algunos ocurren con tanta frecuencia que merecen una mención específica. Los largos tiempos de espera requieren que los pronósticos se realicen con mucha anticipación, lo que disminuye su confiabilidad. La estacionalidad también tiende a incrementar el error de pronóstico. Los errores de pronóstico aumentan cuando los ciclos de vida del producto son cortos, ya que existen pocos datos históricos que sirvan de base cuando se produce un pronóstico. Las compañías con pocos clientes suelen experimentar una demanda muy irregular que es más difícil de pronosticar que la demanda de muchos clientes pequeños, la cual tiende a ser más uniforme. La calidad del pronóstico sufre cuando se basa en pedidos colocados por intermediarios en una cadena de suministro en lugar de en la demanda del cliente final. Esto fue particularmente evidente en el sector de las telecomunicaciones en 2001 cuando los pronósticos de los fabricantes superaron la demanda de los clientes por una gran cantidad. Sin una visualización de la demanda del cliente final, una compañía siempre enfrenta dificultades para producir pronósticos confiables.

Dos estrategias utilizadas para mitigar el riesgo del pronóstico son incrementar la capacidad de respuesta de la cadena de suministro y aprovechar las oportunidades para agregar la demanda. La capacidad de respuesta incrementada permite a la empresa reducir los errores de pronóstico y reducir de esa manera el riesgo asociado. Zara y Seven-Eleven Japan han tenido éxito diseñando y operando cadenas de suministro con capacidad de respuesta. Zara reabastece sus tiendas varias veces a la semana mientras que Seven-Eleven lo hace varias veces al día. Como resultado, los gerentes de tienda en cada caso tienen que hacer pronósticos en el corto plazo que sean bastante precisos. La agregación (*pooling*) que se analiza en el capítulo 12, trata de suavizar la demanda irregular al reunir múltiples fuentes de demanda. De este modo, Amazon tiene menos errores de pronóstico que Barnes & Noble, ya que agrega la demanda geográfica en sus almacenes.

Una mejor capacidad de respuesta y la agregación suelen implicar un costo. La velocidad incrementada puede requerir inversión en capacidad, en tanto que la agregación tiende a incrementar el costo de transporte. Para lograr el equilibrio perfecto entre la mitigación del riesgo y el costo, es importante adecuar las estrategias de mitigación. Por ejemplo, cuando se comercia con productos de consumo cuyos déficit son fáciles de compensar con compras en el mercado *spot*, no se justifica gastar grandes cantidades para incrementar la capacidad de respuesta de la cadena de suministro. En contraste, para un producto cuyo ciclo de vida es corto (por ejemplo ropa de moda, como sucede con Zara), invertir en la capacidad de respuesta puede valer la pena. Asimismo, es probable que el beneficio derivado de la agregación sea grande sólo cuando el error de

pronóstico subyacente sea alto y el valor de producto sea alto con respecto al costo de transporte. Quizá no se justifique invertir en esfuerzos de agregación en el caso de productos con errores de pronóstico pequeños. Blue Nile ha tenido éxito al agregar diamantes de alto valor cuya demanda es difícil de pronosticar. Por el contrario, el detergente, el cual es fácil de pronosticar y cuyos costos de transporte son altos con respecto a su valor, en general se vende a través de tiendas minoristas descentralizadas. Estas ideas se analizan con más detalle en los capítulos 4, 12 y 13.

7.11 EL PRONÓSTICO EN LA PRÁCTICA

Colaborar en la construcción de pronósticos. En general, la colaboración con los socios de su cadena de suministro da lugar a un pronóstico más preciso. Se requiere invertir tiempo y esfuerzo en construir las relaciones con sus socios para comenzar a compartir información y crear pronósticos colaborativos. Sin embargo, los beneficios de la colaboración en la cadena de suministro a veces son mayores que el costo (en el capítulo 10 se analizan con más detalle la planeación, el pronóstico y el reabastecimiento colaborativos). La realidad actual, sin embargo, es que la mayoría de los pronósticos no tienen en cuenta toda la información disponible a través de las diferentes funciones de una empresa. En consecuencia, éstas deben llevar a cabo un proceso de planeación de ventas y operaciones (que se analiza en el capítulo 9) que reúna las funciones de ventas y operaciones cuando se planifique.

Compartir solamente los datos que en verdad aporten valor. El valor de los datos depende de dónde nos encontremos en la cadena de suministro. Un minorista encuentra que los datos de punto de venta son muy valiosos al medir el desempeño de sus tiendas. Sin embargo, un fabricante que vende a un distribuidor, quien a su vez vende a minoristas, no necesita todos los detalles del punto de venta. El fabricante encuentra que los datos de demanda agregada son bastante valiosos con marginalmente más valor que proviene de datos de punto de venta detallados. Limitar los datos compartidos a lo que verdaderamente se requiere, reduce la inversión en TI y mejora las probabilidades de una colaboración exitosa.

Asegurarse de distinguir entre la demanda y las ventas. En ocasiones, las compañías cometen el error de examinar las ventas históricas y suponer que representan la demanda histórica. Para obtener una demanda verdadera se requiere ajustar la demanda no satisfecha debido a desabastos, acciones de los competidores, precio y promociones. De no hacerlo así, se tendrán pronósticos que no representan la realidad actual.

7.12 RESUMEN

1. ***Entender el papel del pronóstico tanto para la empresa como para la cadena de suministro.*** El proceso de pronosticar es un impulsor clave de virtualmente toda decisión de diseño y planeación tomada tanto en una empresa como en una cadena de suministro. Las empresas siempre han pronosticado la demanda y la han utilizado para tomar decisiones. Un fenómeno relativamente reciente, sin embargo, es crear pronósticos colaborativos para toda la cadena de suministro y utilizarlos como la base para decidir. Los pronósticos colaborativos incrementan en gran medida la precisión de los pronósticos y permite que la cadena de suministro maximice su desempeño. Sin colaboración, las etapas de la cadena de suministro más allá de la demanda probablemente tendrán pronósticos defectuosos que provocarán ineficiencias y una falta de capacidad de respuesta en la cadena de suministro.

2. ***Identificar los componentes del pronóstico de la demanda.*** La demanda consta de un componente sistemático y un componente aleatorio. El primero mide el valor esperado de la demanda, en tanto que el segundo mide las fluctuaciones de la demanda a partir del valor esperado. El componente sistemático se compone de un nivel, una tendencia y una estacionalidad. El nivel mide la demanda desestacionalizada actual. La tendencia mide la tasa de crecimiento o declinación actual de la demanda. La estacionalidad indica las fluctuaciones estacionales predecibles de la demanda.

3. ***Pronosticar la demanda en una cadena de suministro dada la información de la demanda histórica empleando metodologías de series de tiempo.*** Los métodos de pronosticar de series de tiempo se clasifican como *estáticos* o *adaptativos*. En los métodos estáticos la estimación de parámetros y patrones de demanda

no se actualiza cuando se observa una nueva demanda. Los métodos estáticos incluyen la regresión. En los métodos adaptativos las estimaciones se actualizan cada vez que se observa una nueva demanda. Incluyen los promedios móviles, el suavizamiento exponencial simple, el modelo de Holt y el modelo de Winter. Los promedios móviles y el suavizamiento exponencial simple se utilizan mejor cuando la demanda no muestra tendencia o estacionalidad. El modelo de Holt es mejor cuando la demanda muestra una tendencia pero no estacionalidad. El modelo de Winter es apropiado cuando la demanda muestra tanto tendencia como estacionalidad.

4. ***Analizar los pronósticos de la demanda para estimar el error de pronóstico.*** El error de pronóstico mide el componente aleatorio de la demanda. Esta medida es importante porque revela cuán impreciso puede ser un pronóstico y para qué contingencias debe hacer planes la empresa. El MSE, la MAD y el MAPE se utilizan para estimar el tamaño del error de pronóstico. El sesgo y la señal de rastreo (TS) se utilizan para estimar si el pronóstico sobrepronostica o subpronostica de manera consistente, o si la demanda se ha desviado significativamente de las normas históricas.

Preguntas para debate

1. ¿Qué rol desempeña el pronóstico en la cadena de suministro de un fabricante que produce sobre pedido como Dell?
2. ¿Cómo podría Dell emplear el pronóstico colaborativo con sus proveedores para mejorar la cadena de suministro?
3. ¿Qué rol desempeña el pronóstico en la cadena de suministro de una compañía de ventas por correo como L.L. Bean?
4. ¿Qué componentes sistemáticos y aleatorios esperaría en la demanda de chocolates?
5. ¿Por qué debe mostrarse suspicaz un gerente cuando alguien afirma que puede pronosticar la demanda histórica sin error alguno de pronóstico?
6. Dé ejemplos de productos que muestren estacionalidad en la demanda.
7. ¿Cuál es el problema si un gerente utiliza los datos de las ventas del año anterior, en lugar de la demanda del año anterior para pronosticar la demanda del próximo año?
8. ¿En qué difieren los métodos de pronóstico estático y adaptativo?
9. ¿Qué información proporcionan la MSE, la MAD y el MAPE a un gerente? ¿Cómo puede utilizar el gerente esta información?
10. ¿Qué información proporcionan el sesgo y la TS al gerente? ¿Cómo puede utilizar el gerente está información?

Ejercicios

1. Considere la demanda mensual de ABC Corporation que se muestra en la tabla 7-3. Pronostique la demanda mensual para el año 6 empleando el método estático. Evalúe el sesgo, TS, MAD, MAPE y MSE. Evalúe la calidad del pronóstico.

Tabla 7-3 Demanda mensual de ABC Corporation

Ventas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Enero	2,000	3,000	2,000	5,000	5,000
Febrero	3,000	4,000	5,000	4,000	2,000
Marzo	3,000	3,000	5,000	4,000	3,000
Abril	3,000	5,000	3,000	2,000	2,000
Mayo	4,000	5,000	4,000	5,000	7,000
Junio	6,000	8,000	6,000	7,000	6,000
Julio	7,000	3,000	7,000	10,000	8,000
Agosto	6,000	8,000	10,000	14,000	10,000
Septiembre	10,000	12,000	15,000	16,000	20,000
Octubre	12,000	12,000	15,000	16,000	20,000
Noviembre	14,000	16,000	18,000	20,000	22,000
Diciembre	8,000	10,000	8,000	12,000	8,000
Total	78,000	89,000	98,000	115,000	113,000

2. La demanda mensual en Hot Pizza es como sigue:

Semana	Demanda ($)
1	108
2	116
3	118
4	124
5	96
6	119
7	96
8	102
9	112
10	102
11	92
12	91

Estime la demanda para las cuatro siguientes semanas empleando un promedio móvil de cuatro semanas así como el suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.1$. Evalúe la MAD, el MAPE, el MSE, el sesgo y la TS en cada caso. ¿Cuál de los dos métodos prefiere? ¿Por qué?

3. A continuación se presentan las demandas trimestrales de flores de un mayorista. Pronostique la demanda trimestral para el año 5 utilizando suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.1$ y el modelo de Holt con $\alpha = 0.1$ y $= 0.1$. ¿Cuál de los dos métodos prefiere? ¿Por qué?

Año	Trimestre	Demanda ('000$)
1	I	98
	II	106
	III	109
	IV	133
2	I	130
	II	116
	III	133
	IV	116
3	I	138
	II	130
	III	147
	IV	141
4	I	144
	II	142
	III	165
	IV	173

4. Considere la demanda mensual de ABC Corporation como se muestra en la tabla 7-3. Pronostique la demanda mensual para el año 6 utilizando el promedio móvil, el suavizamiento exponencial simple, el modelo de Holt y el modelo de Winter. En cada caso evalúe el sesgo, la TS, la MAD, el MAPE y el MSE. ¿Cuál método de pronóstico prefiere? ¿Por qué?

5. Con los datos de Pizza Hot del ejercicio 2, compare el desempeño del suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.1$ y $\alpha = 0.9$. ¿Qué diferencia observa en los pronósticos? ¿Cuál de las dos constantes de suavizamiento prefiere?

6. La demanda mensual de televisores de pantalla plana en A & D Electronics son como sigue:

Mes	Demanda (unidades)
1	1,00
2	1,113
3	1,271
4	1,445
5	1,558
6	1,648
7	1,724
8	1,850
9	1,864
10	2,076
11	2,167
12	2,191

Estime la demanda para las siguientes dos semanas utilizando suavizamiento exponencial simple con $\alpha = 0.3$ y el modelo de Holt con $\alpha = 0.005$ y $= 0.1$. Para el modelo de suavizamiento exponencial simple use el nivel en el periodo 0, para que $L_0 = 1{,}659$ (la demanda promedio durante los 12 meses). Para el modelo de Holt utilice el nivel en el periodo 0, para que $L_0 = 948$ y la tendencia en el periodo 0, para que $T_0 = 109$ (ambos se obtienen mediante regresión). Evalúe la MAD, el MAPE, el MSE, el sesgo y la TS en cada caso. ¿Cuál de los dos métodos prefiere? ¿Por qué?

7. Utilizando los datos de A&A Electronics del ejercicio 6, repita el modelo de Holt con $\alpha = 0.05$ y $= 0.1$. ¿Qué combinación de constantes de suavizamiento prefiere? ¿Por qué?

Bibliografía

Bernstein, Peter L., y Theodore H. Silbert. (Septiembre-octubre 1984). Are Economic Forecasters Worth Listening To? *Harvard Business Review,* pp. 2-8.

Bowerman, Bruce L, y Richard T. O'Connell. (1993). *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*, 3a. ed. Belmont, CA: Duxbury.

Box, George E. P., y Gwilym M. Jenkins. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control.* Oakland, CA: Holden-Day.

Brown, Robert G. (1959). *Statistical Forecasting for Inventory Control.* Nueva York: McGraw-Hill.

Chambers, John C., Satinder K. Mullick, y Donald D. Smith. (Julio-agosto 1971). How to Choose the Right Forecasting Technique. *Harvard Business Review,* pp. 45-74.

Forecasting with Regression Analysis. (1994). Cambridge, MA: Harvard Business School. Nota #9-894-007.

Georgoff, David M., y Robert G. Murdick. (Enero-febrero 1986). Manager's Guide to Forecasting. *Harvard Business Review,* pp. 2-9.

Gilliland, Michael. (Julio-agosto 2002). ls Forecasting a Waste of Time? *Supply Chain Management Review*, pp. 16-23.

McClain, John O. (Octubre 1981). Restarting a Forecasting System When Demand Suddenly Changes. *Journal of Operations Management,* pp. 53-61.

Makridakis, S., A. Andersen, R. Carbone, R. Fildes, M. Hibon, R. Lewandowski, J. Newton, E. Parzen, y R. Winkler. (Abril-junio 1982). The Accuracy of Extrapolation (Time Series) Methods: Results of a Forecasting Competition. *Journal of Forecasting,* pp. 111-153.

Makridakis, Spyros, y Steven C. Wheelwright. (1989). *Forecasting Methods for Management.* Nueva York: Wiley.

Yurkiewicz, Jack. (Junio 2010). Forecasting: What Can You Predict for Me? *ORMS Today,* pp. 36-39. Encuesta de Software disponible en http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/FSS/fss-fr.html

ESTUDIO DE CASO

Specialty Packaging Corporation, Parte A

Julie Williams tenía mucho que pensar cuando salió de la sala de juntas de Specialty Packaging Corporation (SPC). Su gerente de división le había informado que sería asignada a un equipo que estaba formado por el vicepresidente de marketing de SPC y miembros del personal de sus principales clientes. El objetivo de este equipo era mejorar el desempeño de la cadena de suministro, ya que SPC había sido incapaz de satisfacer la demanda de manera efectiva en los años anteriores. Esto provocaba con frecuencia un desorden entre los clientes al tratar de satisfacer las demandas de nuevos clientes. Julie tenía poco contacto con los clientes de SPC y se preguntaba cómo agregaría valor a este proceso. Su gerente de división le dijo que la primera tarea del equipo era establecer un pronóstico colaborativo empleando la información tanto de SPC como de sus clientes. Este pronóstico serviría como base para mejorar el desempeño de la empresa, ya que los gerentes podrían utilizar este presupuesto más preciso para planear su producción. Los pronósticos mejorados permitirían a SPC mejorar su desempeño de entrega.

SPC

SPC transforma la resina de poliestireno en envases desechables/reciclables para la industria alimenticia. El poliestireno se compra como materia prima en forma de pelotillas de resina. La resina se descarga de los contenedores de ferrocarril y se carga en camiones remolque para transportarla a silos de almacenamiento. La fabricación de envases para alimentos es un proceso de dos pasos. Primero, la resina se transporta a un extrusor, el cual la convierte en hoja de poliestireno que se enrolla. El plástico viene en dos formas, claro y oscuro. Los rollos se utilizan de inmediato para fabricar contenedores o se almacenan. En segundo lugar, los rollos se cargan en prensas termoformadoras, las cuales transforman la hoja en contenedores y los recortan de la hoja. Los dos pasos de fabricación se muestran en la figura 7-11.

En los últimos cinco años el negocio de envases de plástico ha crecido de forma constante. La demanda de envases hechos de plástico transparente proviene de

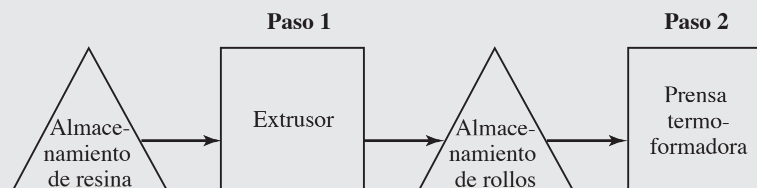


FIGURA 7-11 Proceso de fabricación en SPC.

tiendas de abarrotes, panaderías y restaurantes. Los proveedores de alimentos y las tiendas de abarrotes utilizan las charolas de plástico oscuro como empaques y charolas de servir. La demanda de envases de plástico transparente alcanza su punto máximo en los meses de verano, mientras que la demanda de envases de plástico oscuro lo alcanza en el otoño. La capacidad de los extrusores no es suficiente para cubrir la demanda de hoja durante las estaciones pico. Como resultado, la planta se ve obligada a construir inventario de cada tipo de hoja con anticipación a la demanda futura. La tabla 7-4 y la figura 7-12 muestran la demanda histórica trimestral de cada uno de los dos tipos de envases (transparente y negro). El equipo modificó los datos de ventas de SPC teniendo en cuenta las ventas perdidas para obtener datos de la demanda verdadera. Sin la intervención de los clientes en este equipo, SPC nunca conocería esta información, ya que la compañía no da seguimiento a los pedidos perdidos.

Pronóstico

Como primer paso en la toma de decisiones del equipo, se desea pronosticar la demanda trimestral de cada uno de los dos tipos de envases para los años 2010 a 2012. Con base en tendencias históricas, se espera que la demanda continúe creciendo hasta 2012, después de lo cual se espera que se estabilice. Julie debe seleccionar el método de pronóstico apropiado y estimar el probable error de pronóstico. ¿Qué método debe elegir? ¿Por qué? Utilizando el método seleccionado, pronostique la demanda para los años de 2010 a 2012.

Tabla 7-4 Demanda histórica trimestral de envases de plástico transparente y oscuro

Año	Trimestre	Demanda de plástico oscuro ('000 lb))	Demanda de plástico transparente ('000 lb)
2005	I	2,250	3,200
	II	1,737	7,658
	III	2,412	4,420
	IV	7,269	2,384
2006	I	3,514	3,654
	II	2,143	8,680
	III	3,459	5,695
	IV	7,056	1,953
2007	I	4,120	4,742
	II	2,766	13,673
	III	2,556	6,640
	IV	8,253	2,737
2008	I	5,491	3,486
	II	4,382	13,186
	III	4,315	5,448
	IV	12,035	3,485
2009	I	5,648	7,728
	II	3,696	16,591
	III	4,843	8,236
	IV	13,097	3,316

(Continúa)

(Continuación)

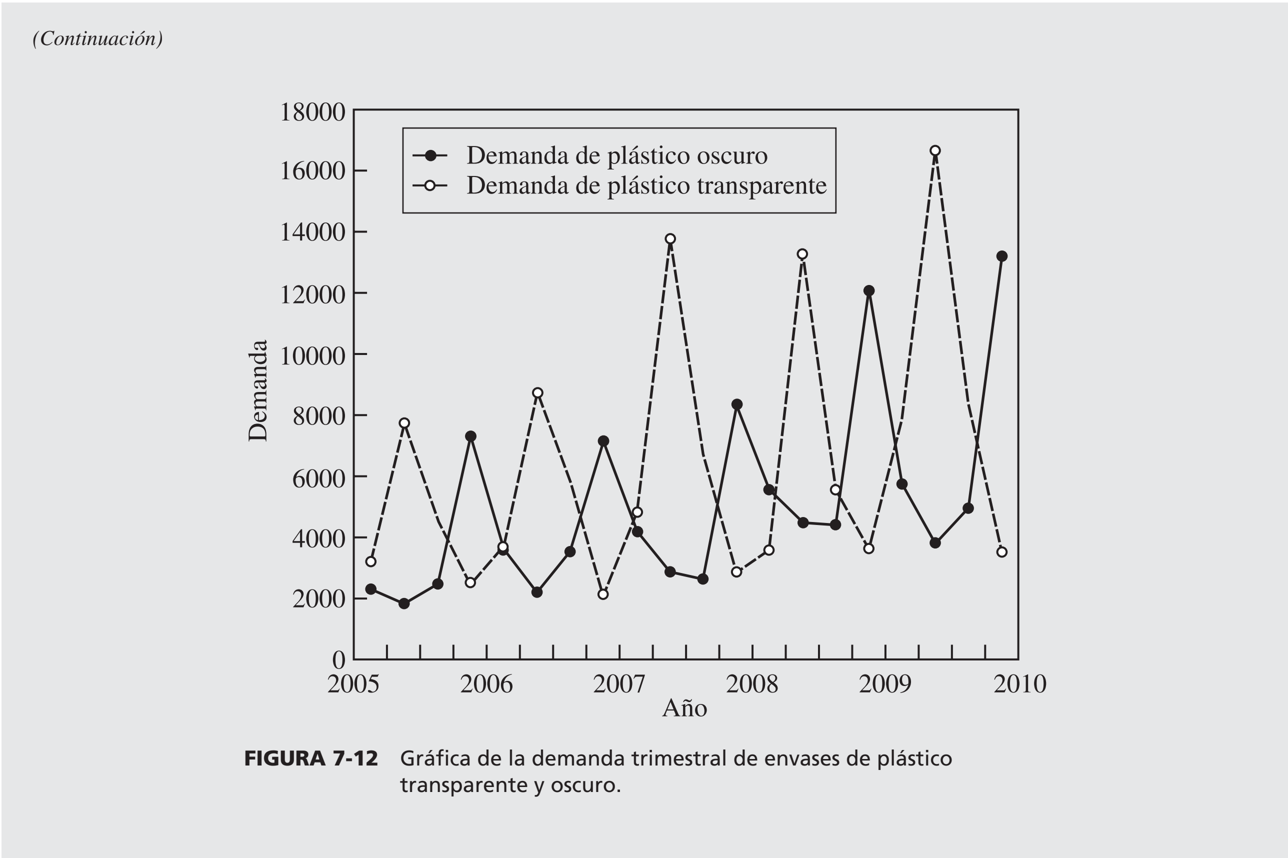


FIGURA 7-12 Gráfica de la demanda trimestral de envases de plástico transparente y oscuro.

8



Planeación agregada en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Identificar las decisiones que se solucionan mediante la planeación agregada.
2. Entender la importancia de la planeación agregada como una actividad de la cadena de suministro.
3. Describir la información requerida para producir un plan agregado.
4. Explicar los trueques básicos a considerar cuando se crea un plan agregado.
5. Formular y resolver problemas básicos de planeación agregada utilizando Microsoft Excel.

En este capítulo analizamos cómo se utiliza la metodología de planeación agregada para tomar decisiones relacionadas con la producción, subcontratación (*outsourcing*), inventario y órdenes pendientes en una cadena de suministro. Identificamos la información requerida para producir un plan agregado y delinear los trueques básicos que deben hacerse para crear un plan agregado óptimo. También describimos cómo formular y resolver un problema de planeación agregada utilizando Microsoft Excel.

8.1 ROL DE LA PLANEACIÓN AGREGADA EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Imaginemos un mundo en el cual la capacidad de fabricación, el transporte, el almacenamiento e incluso la capacidad de información, fueran ilimitados y gratuitos. Imaginemos tiempos de entrega cero, que permitan que los productos se produzcan y entreguen de manera instantánea. En este mundo no habría necesidad de planificar con anticipación a la demanda, ya que siempre que un cliente demandara un producto, ésta se satisfaría al instante. En este mundo la planeación agregada no tiene ningún rol.

Sin embargo, en el mundo real la capacidad tiene un costo, y con frecuencia los tiempos de entrega son largos. Por consiguiente, las compañías deben tomar decisiones con respecto a niveles de capacidad, niveles de producción, subcontratación y promociones, mucho antes de que se conozca la demanda. Una compañía debe prever la demanda y determinar por adelantado cómo satisfacerla. ¿Debería la compañía invertir en una planta de gran capacidad de modo que pudiera producir lo suficiente para satisfacer la demanda incluso en los meses más ocupados? ¿O debería construir una planta más pequeña pero incurrir en los costos de mantener inventario durante los periodos lentos, en anticipación a la demanda de los meses posteriores? Éstos son los tipos de preguntas que la planeación agregada ayuda a responder.

La *planeación agregada* es un proceso mediante el cual una compañía determina los niveles ideales de capacidad, producción, subcontratación, inventario, faltantes e incluso precios, durante un horizonte de tiempo específico. El objeto de la planeación agregada es satisfacer la demanda y al mismo tiempo maximizar las utilidades. La planeación agregada, como su nombre lo indica, resuelve problemas que implican decisiones agregadas en lugar de decisiones a nivel de unidades de control de existencias (SKU, *Stock Keeping Unit*). Por ejemplo, la planeación agregada determina el nivel de producción total en una planta para un mes dado, pero lo hace sin determinar la cantidad de cada SKU

individual que se producirá. Este nivel de detalle hace de la planeación agregada una herramienta útil para pensar en decisiones con un marco de tiempo intermedio de 3 y 18 meses. En este marco de tiempo es muy pronto para determinar niveles de producción por SKU, pero también por lo general es muy tarde para disponer lo necesario para capacidad adicional. Por tanto, la planeación agregada responde la pregunta: ¿Cómo debería una empresa utilizar mejor las instalaciones que actualmente tiene?

Para que sea eficaz, la planeación agregada requiere datos de todas las etapas de la cadena de suministro, y sus resultados tienen un gran impacto en el desempeño de la cadena. Como vimos en el capítulo anterior sobre métodos de pronósticos, los pronósticos colaborativos son creados por múltiples empresas de la cadena de suministro y son un dato importante para la planeación agregada. Además, muchas restricciones que son datos de entrada fundamentales para la planeación agregada provienen de socios de la cadena de suministro externos a la empresa. Sin estos datos de entrada tanto de arriba como debajo de la cadena de suministro, la planeación agregada no funciona a todo su potencial para crear valor. El resultado de la planeación agregada también es de valor tanto para los socios lejanos como cercanos al cliente final. Los planes de producción de una compañía definen la demanda para los proveedores y establecen restricciones de suministro para los clientes. Este capítulo pretende crear un fundamento para utilizar la planeación agregada tanto en forma aislada dentro de una empresa como a través de toda la cadena de suministro. Las implicaciones de la planeación agregada en la cadena de suministro se aclararán en el capítulo 9, donde analizamos la planeación de ventas y operaciones.

Como un ejemplo, consideremos cómo una cadena de suministro de papel fino emplea la planeación agregada para maximizar las utilidades. Muchos tipos de fábricas de papel enfrentan una demanda estacional que oscila de los clientes a los impresores, a los distribuidores, y por último a los fabricantes. Muchos tipos de papel fino tienen picos de demanda en la primavera, cuando se imprimen reportes anuales, y en el otoño, cuando se lanzan catálogos de automóviles nuevos. Construir una fábrica con capacidad para satisfacer la demanda en la primavera y en otoño como se requiera es muy costoso, por el alto costo de la capacidad de la fábrica. Al otro lado de la cadena de suministro, a veces los papeles finos requieren aditivos y recubrimientos especiales que pueden escasear. El fabricante de papel debe enfrentar estas restricciones y maximizar las utilidades en torno a ellas. Para enfrentar estos problemas potenciales, las fábricas emplean la planeación agregada para determinar los niveles de producción e inventario que deben construir en los meses lentos para la venta en primavera y otoño cuando la demanda supera la capacidad de la fábrica. Tomando en cuenta los datos de entrada de toda la cadena, la planeación agregada permite a la fábrica y a la cadena de suministro maximizar las utilidades.

El objetivo principal del planificador es identificar los siguientes parámetros de operación durante un horizonte de tiempo específico.

***Tasa de producción*:** el número de unidades que se debe terminar por unidad de tiempo (ya sea por semana o por mes).

***Fuerza de trabajo*:** número de trabajadores/unidades de capacidad requeridos para la producción.

***Tiempo extra*:** cantidad de tiempo extra de producción planeada.

***Nivel de capacidad de máquina*:** número de unidades de capacidad de máquina que se requieren para la producción.

***Subcontratación*:** capacidad subcontratada requerida durante el horizonte de planeación.

***Pendientes*:** demanda no satisfecha en el periodo en que se presenta pero que se transfiere a periodos futuros.

***Inventario disponible*:** aquel que se planea y se transfiere a varios periodos en el horizonte de planeación.

El plan agregado sirve como un plano general de operaciones y establece los parámetros dentro de los cuales se toman decisiones de producción y distribución en el corto plazo. El plan agregado permite a la cadena de suministro modificar las asignaciones de capacidad y cambiar los contratos de suministro. Como se mencionó en capítulos anteriores, toda la cadena de suministro debe intervenir en el proceso de planeación. Si un fabricante ha planeado incrementar la producción durante un lapso determinado, el proveedor, el transportista y el almacenista deben estar enterados de este plan e incorporar el incremento en sus propios

planes. Idealmente, todas las etapas de la cadena de suministro deben trabajar juntas sobre un plan agregado que optimice el desempeño de la cadena. Si cada etapa desarrolla su propio plan agregado, es sumamente improbable que los planes concuerden de una manera coordinada. De la carencia de coordinación resulta escasez o exceso de existencias en la cadena de suministro. Por tanto, es importante crear planes agregados en un ámbito muy amplio de la cadena.

En la siguiente sección definimos de manera formal el problema de la planeación agregada. Especificamos la información necesaria para la planeación agregada y analizamos los resultados de las decisiones que la planeación agregada puede proporcionar.

8.2 EL PROBLEMA DE LA PLANEACIÓN AGREGADA

El objetivo de la planeación agregada es satisfacer la demanda de una manera que maximice las utilidades de la compañía. Podemos formular el problema de la planeación agregada como sigue:

> Dado el pronóstico de la demanda para cada uno de los periodos en el horizonte de planeación, determinar los niveles de producción, inventario y capacidad (interna y externa) para cada periodo que maximicen las utilidades de la empresa durante el horizonte de planeación.

Para crear un plan agregado, la compañía debe especificar el horizonte de planeación. Un *horizonte de planeación* es el tiempo durante el cual la planeación agregada va a producir una solución, en general entre tres y 18 meses. Una compañía también debe especificar la duración de cada periodo dentro del horizonte de planeación (por ejemplo, semanas, meses o trimestres). En general, la planeación agregada ocurre durante meses o trimestres. A continuación, la compañía especifica la información clave requerida para producir un plan agregado y tomar las decisiones para las que el plan agregado desarrollará recomendaciones. Esta información y las recomendaciones se especifican para un problema genérico de planeación agregada. El modelo que proponemos en la siguiente sección es lo bastante flexible para acomodar requerimientos específicos de cada situación.

Un planificador requiere la siguiente información:

- Pronóstico de la demanda agregada F_t para cada periodo t en un horizonte de planeación que se extienda a lo largo de T periodos
- Costos de producción
- Costos de mano de obra, tiempo regular ($/hora), y costos de tiempo extra ($/hora)
- Costo de subcontratar la producción ($/unidad o $/hora)
- Costo de cambiar la capacidad; específicamente, costo de contratar/despedir trabajadores ($/trabajador) y el costo de agregar o reducir capacidad de máquina ($/máquina)
- Horas de mano de obra/máquina requeridas por unidad
- Costo de mantener inventario ($/unidad/periodo)
- Costo de desabasto o de órdenes pendientes (*backlogs*) ($/unidad/periodo)
- Restricciones
- Límites en el tiempo extra
- Límites en despidos
- Límites en capital disponible
- Límites en desabastos y pendientes
- Restricciones de proveedores para la empresa

Utilizando esta información, una compañía toma las siguientes determinaciones mediante la planeación agregada:

***Cantidad de producción desde tiempo regular, tiempo extra y tiempo subcontratado*:** utilizada para determinar el número de trabajadores y los niveles de compra a proveedores

***Inventario mantenido*:** utilizado para determinar el espacio de almacén y el capital de trabajo requeridos

***Cantidad de pendientes/desabasto*:** utilizada para determinar los niveles de servicio al cliente

***Fuerza de trabajo contratada/despedida*:** utilizada para determinar cualesquier posibles problemas laborales a que se enfrentarán

***Incremento/reducción de la Capacidad de máquina*:** utilizada para determinar si debe comprarse un nuevo equipo de producción o mantener ocioso el equipo disponible

La calidad de un plan agregado tiene un impacto significativo en la rentabilidad de una empresa. Un plan agregado deficiente puede dar como resultado la pérdida de ventas y utilidades si el inventario y la capacidad disponibles no pueden satisfacer la demanda. Asimismo, un plan agregado deficiente también puede propiciar un exceso de inventario y capacidad, y, por tanto, incrementar los costos. En consecuencia, la planeación agregada es una importante herramienta que ayuda a maximizar la rentabilidad de una cadena de suministro.

Identificación de unidades de producción agregadas

Un paso importante en la planeación agregada es la identificación de una unidad de producción agregada adecuada. Mientras que la planeación se realiza al nivel agregado, es importante que la unidad agregada se identifique de una manera que cuando se elabore el programa de producción final (esto tiene que ser al nivel de producto desagregado), los resultados del plan agregado reflejen de una manera aproximada lo que puede lograrse en la práctica. Dado que es probable que el cuello de botella sea el área más restrictiva en cualquier fábrica, es importante enfocarse en éste cuando se seleccione la unidad agregada e identifique la capacidad así como los tiempos de producción. Al evaluar los tiempos de producción también es importante tener en cuenta actividades como preparaciones y mantenimiento, los cuales consumen capacidad pero que no producen. De lo contrario, el plan agregado sobrestimará la capacidad de producción disponible, y el resultado será un plan que no pueda implementarse en la práctica. Ahora analizamos un método simple que puede usarse para identificar unidades agregadas y también para evaluar costos, ingresos y tiempos para esta unidad agregada.

Consideremos, por ejemplo, a Red Tomato Tools, un fabricante de equipo de jardinería con plantas en México. La compañía fabrica seis familias de productos en su planta. En la tabla 8-1 se muestran los costos, ingresos, tiempos de producción, tiempos de preparación y tamaños de lote históricos de producción para cada familia.

En la tabla 8-1, el tiempo de producción neto por unidad se obtiene al agregar el tiempo de cambio asignado a cada unidad y el tiempo de producción. Por tanto, el tiempo de producción neto/unidad de la familia A se obtiene como $8/50 + 5.60 = 5.76$ horas.

Un método simple para definir la unidad agregada se basa en el promedio ponderado del porcentaje de ventas representado por cada familia. Tal método tiene sentido si la gerencia confía relativamente en la combinación de ventas y todas las familias de productos utilizan el mismo conjunto de recursos en una planta. Utilizando este método, el costo del material por unidad agregada se obtiene como $(15 \times 0.10) + (7 \times 0.25) + (9 \times 0.20) + (12 \times 0.10) + (9 \times 0.20) + (13 \times 0.15) = \$10$. Utilizando una evaluación similar obtenemos el ingreso por unidad agregada = \$40, y el tiempo de producción neto por unidad agregada = 4.40 horas.

Tabla 8-1 Costos, ingresos y tiempos en Red Tomato Tools

Familia	Costo de material/ Unidad ($)	Ingreso/ Unidad ($)	Tiempo de preparación/ Lote (horas)	Tamaño de lote promedio	Tiempo de producción/ Unidad (horas)	Tiempo de producción neto/Unidad (horas)	Parte en porcentaje de las unidades vendidas
A	15	54	8	50	5.60	5.76	10
B	7	30	6	150	3.00	3.04	25
C	9	39	8	100	3.80	3.88	20
D	12	49	10	50	4.80	5.00	10
E	9	36	6	100	3.60	3.66	20
F	13	48	5	75	4.30	4.37	15

Otras unidades agregadas potenciales podrían ser toneladas de producción (probablemente adecuadas para flujos continuos como gasolina o papel) o dólares de ventas. Por ejemplo, una fábrica de papel podría producir papeles de diferentes espesores y calidad. Si se utilizan toneladas de producción como la unidad agregada, todos los cálculos de capacidad, costos e ingresos deben tener en cuenta la combinación de productos.

8.3 ESTRATEGIAS DE PLANEACIÓN AGREGADA

El planificador debe hacer trueques entre los costos de la capacidad, el inventario y los pendientes (*backlogs*). En general, un plan agregado que incremente uno de estos costos reduce los otros dos. En este sentido los costos representan un trueque: para reducir el costo del inventario, un planificador debe incrementar el costo de la capacidad o retardar la entrega al cliente. Por tanto, el planificador intercambia el costo del inventario con el costo de la capacidad o de los pendientes. Llegar a la combinación más rentable de trueques es el objetivo de la planeación agregada. Dado que la demanda varía con el tiempo, el nivel relativo de los tres costos hace que uno de ellos sea la palanca clave que el planificador utiliza para maximizar las utilidades. Si el costo de variar la capacidad es bajo, quizás una compañía no necesite acumular inventario o tener pendientes. Si el costo de variar la capacidad es alto, una compañía puede compensar acumulando un poco de inventario y transfiriendo algunos pendientes de los periodos de demanda pico a los periodos de menor demanda.

En general una compañía trata de utilizar una combinación de los tres costos para satisfacer mejor la demanda. Por consiguiente, los trueques fundamentales disponibles para un planificador están entre

- Capacidad (tiempo regular, tiempo extra, subcontratada)
- Inventario
- Pendientes/ventas perdidas por retraso

En esencia hay tres estrategias de planeación agregada distintas para lograr el balance entre estos costos. Estas estrategias implican trueques entre la inversión de capital, el tamaño de la fuerza de trabajo, las horas de trabajo, el inventario y pendientes/ventas perdidas. La mayoría de las estrategias que realmente utiliza un planificador son una combinación de estas tres y se conocen como *estrategias a la medida* o *híbridas*. Éstas son:

1. ***Estrategia de persecución, que utiliza la capacidad como la palanca.*** Con esta estrategia, la tasa de producción se sincroniza con la tasa de la demanda al variar la capacidad de máquina o contratar y despedir empleados conforme varía la tasa de la demanda. En la práctica, lograr esta sincronización puede ser problemático debido a la dificultad de variar la capacidad y la fuerza de trabajo en poco tiempo. Esta estrategia puede ser cara de implementar si el costo de variar la capacidad de máquina o de mano de obra es alto al paso del tiempo. También puede tener un impacto negativo significativo en la moral de la fuerza de trabajo. La estrategia de persecución reduce los niveles de inventario en la cadena de suministro e incrementa los niveles de cambio en la capacidad y la fuerza de trabajo. Debe usarse cuando el costo de manejo de inventario es alto y los costos de cambiar los niveles de máquina y capacidad de mano de obra son bajos.

2. ***Estrategia de flexibilidad, que emplea la utilización como la palanca.*** Se puede usar esta estrategia si hay un exceso de capacidad de máquina (es decir, si las máquinas no se utilizan las 24 horas del día, siete días a la semana) y la fuerza de trabajo muestra flexibilidad de programación. En este caso, la fuerza de trabajo (capacidad) se mantiene estable, pero el número de horas trabajadas varía con el tiempo en un esfuerzo por sincronizar la producción con la demanda. Un planificador puede utilizar cantidades variables de tiempo extra o un programa flexible para lograr esta sincronización. Aunque esta estrategia requiere que la fuerza de trabajo sea flexible, evita algunos de los problemas asociados con la estrategia de persecución, sobre todo el cambio del tamaño de la fuerza de trabajo. Esta estrategia genera bajos niveles de inventario pero con una menor utilización promedio de máquina. Debe usarse cuando los costos de manejo de inventario sean relativamente altos y la capacidad de máquina relativamente barata.

3. ***Estrategia de nivel, que utiliza el inventario como la palanca.*** Con esta estrategia se mantienen estables la capacidad de máquina y la fuerza de trabajo con una tasa de producción constante. Los faltantes y sobrantes producen niveles de inventario que fluctúan con el tiempo. En este caso la producción no se sincroniza con la demanda. O se acumulan inventarios en previsión de la demanda futura o los pendientes

(*backlogs*) se transfieren de los periodos de demanda alta a los de demanda baja. Los empleados se benefician con las condiciones de trabajo estables. Una desventaja asociada con esta estrategia es que se pueden acumular grandes inventarios y los pedidos de los clientes se retrasen. Esta estrategia mantiene la capacidad y los costos de cambiar la capacidad relativamente bajos. Debe usarse cuando los costos de manejo de inventario y órdenes pendientes sean relativamente bajos.

En la práctica, es muy probable que un planificador termine con una estrategia hecha a la medida o híbrida que combine aspectos de los tres métodos. En la siguiente sección analizamos una metodología para planeación agregada que se utiliza comúnmente.

8.4 PLANEACIÓN AGREGADA UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL

Como ya lo explicamos antes, el objetivo de la planeación agregada es maximizar las utilidades y, al mismo tiempo, satisfacer la demanda. Toda compañía, en su esfuerzo por satisfacer la demanda del cliente, enfrenta ciertas restricciones, como la capacidad de sus instalaciones o la capacidad de un proveedor de entregar un componente. Una herramienta sumamente eficaz para que una compañía la utilice cuando trata de maximizar las utilidades mientras se somete a una serie de restricciones es la programación lineal. La *programación lineal* encuentra la solución que produce la utilidad más alta al mismo tiempo que satisface las restricciones que enfrenta la compañía.

Ilustramos la programación lineal mediante el análisis de Red Tomato Tools, un pequeño fabricante de equipo de jardinería con instalaciones en México. Sus productos se venden a través de minoristas en Estados Unidos. Sus operaciones consisten en el ensamble con partes compradas de una sola herramienta de jardinería multiusos. Debido al equipo y espacio limitados que se requieren para sus operaciones, la capacidad de Red Tomato depende sobre todo del tamaño de su fuerza de trabajo.

Para este ejemplo utilizamos un periodo de seis meses porque es un horizonte de tiempo suficientemente grande que permite ilustrar muchos de los puntos principales de la planeación agregada.

Red Tomato Tools

La demanda de herramientas de jardinería de Red Tomato por parte de los consumidores es sumamente estacional, llega a su máximo en la primavera cuando las personas arreglan sus jardines. Esta demanda estacional afecta la cadena de suministro desde el minorista hasta Red Tomato, el fabricante. Las opciones de Red Tomato para manejar la estacionalidad son agregar trabajadores durante la temporada pico, subcontratar parte del trabajo, acumular inventario durante los meses lentos, o acumular una cartera de pedidos que se entregarán posteriormente a los clientes. Para determinar cómo utilizar mejor estas opciones por medio de un plan agregado, el vicepresidente de la cadena de suministro comienza con la primera tarea, que es pronosticar la demanda. Aunque Red Tomato tratara de pronosticar esta demanda por sí mismo, se obtiene un pronóstico más preciso con un proceso colaborativo empleado tanto por Red Tomato como por sus minoristas para llegar al pronóstico de la tabla 8-2. Es importante que la demanda tenga en cuenta la combinación de productos que espera vender y que sea en términos de unidades agregadas definidas con anterioridad.

Red Tomato vende cada herramienta a través de minoristas en $40. La compañía dispone de un inventario inicial de 1,000 herramientas en enero. A principios de enero, la compañía tiene una fuerza de trabajo de 80 empleados.

Tabla 8-2 Pronóstico de la demanda en Red Tomato Tools

Mes	Demanda
Enero	1,600
Febrero	3,000
Marzo	3,200
Abril	3,800
Mayo	2,200
Junio	2,200

Tabla 8-3 Costos para Red Tomato

Partida	Costo
Costo de material	$10/unidad
Costo de manejo de inventario	$2/unidad/mes
Costo marginal de desabasto/pendientes	$5/unidad/mes
Costos de contratación y capacitación	$300/trabajador
Costo de despidos	$500/trabajador
Horas de mano de obra requeridas	4/unidad
Costo del tiempo regular	$4/hora
Costo del tiempo extra	$6/hora
Costo de subcontratación	$30/unidad

La planta tiene un total de 20 días hábiles en cada mes, y cada empleado gana $4 por hora de tiempo regular, trabaja 8 horas por día de tiempo normal y el resto como tiempo extra. Como ya vimos antes, la capacidad de la operación de producción está determinada sobre todo por las horas de trabajo totales trabajadas. Por consiguiente, la capacidad de máquina no limita la capacidad de la operación de producción. Por reglamento laboral, ningún empleado trabaja más de 10 horas de tiempo extra por mes. Los diversos costos se muestran en la tabla 8-3. Es importante que los costos y las horas de trabajo estén en unidades agregadas como se explicó en sección 8-2.

En la actualidad Red Tomato no tiene límites en cuanto a subcontratación, inventarios y desabastos/pendientes. Todos los desabastos se dejan pendientes y surten con la producción de los meses siguientes. Se incurre en costos de inventario sobre el inventario final en el mes. El objetivo del gerente de la cadena es obtener el plan agregado óptimo que permita a Red Tomato terminar junio con al menos 500 unidades (es decir, sin desabastos al final de junio y con al menos 500 unidades en el inventario).

El plan agregado óptimo es el que produce la utilidad más alta durante el horizonte de planeación de seis meses. Por ahora, dado el deseo de Red Tomato de ofrecer un alto nivel de servicio al cliente, supongamos que toda la demanda debe satisfacerse, aunque sea tarde. Por consiguiente, los ingresos obtenidos durante el horizonte de planeación son fijos. En consecuencia, minimizar los costos durante el horizonte de planeación es lo mismo que maximizar la utilidad. En muchos casos, una compañía tiene la opción de no satisfacer cierta demanda, o el precio mismo puede ser una variable que una compañía tiene que determinar con base en el plan agregado. En semejante escenario, minimizar el costo no equivale a maximizar las utilidades.

Variables de decisión

El primer paso para construir un modelo de planeación agregada es identificar el conjunto de variables de decisión cuyos valores deben determinarse como parte del plan agregado. Para Red Tomato, se definen las siguientes variables de decisión para el modelo de planeación agregada:

W_t = tamaño de la fuerza de trabajo en el mes t, $t = 1,\ldots,6$
H_t = número de empleados contratados al inicio del mes t, $t = 1,\ldots,6$
L_t = número de empleados despedidos al inicio del mes t, $t = 1,\ldots,6$
P_t = número de unidades producidas en el mes t, $t = 1,\ldots,6$
I_t = inventario al final del mes t, $t = 1,\ldots,6$
S_t = número de unidades faltantes/pendientes al final del mes t, $t = 1,\ldots,6$
C_t = número de unidades subcontratadas en el mes t, $t = 1,\ldots,6$
O_t = número de horas de tiempo extra trabajadas en el mes t, $t = 1,\ldots,6$

El siguiente paso en la construcción del modelo de planeación agregada es definir la función objetivo.

Función objetivo

Denotemos la demanda en el periodo t como D_t. Los valores de D_t son los especificados por el pronóstico de la demanda en la tabla 8-2. La función objetivo es minimizar el costo total (equivalente a maximizar la utilidad total ya que debe satisfacerse toda la demanda) en que se incurre durante el horizonte de planeación. El costo en que se incurre tiene los siguientes componentes:

- Costo de mano de obra en tiempo regular
- Costo de mano de obra en tiempo extra
- Costo de contratación y despido
- Costo de mantener el inventario
- Costo de desabasto
- Costo de subcontratación
- Costo de material

Estos costos se evalúan como sigue:

1. ***Costo de mano de obra en tiempo regular.*** Recordemos que los trabajadores devengan un salario por tiempo regular de \$640 (\$4/hora × 8 horas/día × 20 días/mes) mensual. Como W_t es el número de trabajadores en el periodo t, el costo de mano de obra en tiempo regular durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Costo de mano de obra en tiempo regular} = \sum_{t=1}^{6} 640W_t$$

2. ***Costo de mano de obra en tiempo extra.*** Como el costo de mano de obra en tiempo extra es de \$6/hora (vea la tabla 8-3) y O_t representa el número de horas de tiempo extra trabajadas en el periodo t, el costo por tiempo extra durante el horizonte de planeación es

$$\text{Costo de mano de obra en tiempo extra} = \sum_{t=1}^{6} 6O_t$$

3. ***Costo de contratación y despido.*** El costo de contratar un trabajador es de \$300 y el costo de despedirlo es de \$500 (vea la tabla 8-3). H_t y L_t representan el número de contratados y el número de despedidos, respectivamente, en el periodo t. Por tanto, el costo de contratación y despido está dado por

$$\text{Costo de contratación y despido} = \sum_{t=1}^{6} 300H_t + \sum_{t=1}^{6} 500L_t$$

4. ***Costo de inventario y desabasto.*** El costo de manejar el inventario es de \$2 por unidad por mes, y el costo de desabasto es de \$5 por unidad por mes (vea la tabla 8-3). I_t y S_t representan las unidades en el inventario y las unidades en desabasto, respectivamente, en el periodo t. Por tanto, el costo mantener el inventario y desabasto es

$$\text{Costo de mantener el inventario y desabasto} = \sum_{t=1}^{6} 2I_t + \sum_{t=1}^{6} 5S_t$$

5. ***Costo de materiales y subcontratación.*** El costo de material es de \$10 por unidad y el de subcontratación es de \$30/unidad (vea la tabla 8-3). P_t representa la cantidad producida y C_t representa la cantidad subcontratada en el periodo t. Por tanto, el costo de material y subcontratación es

$$\text{Costo de materiales y subcontratación} = \sum_{t=1}^{6} 10P_t + \sum_{t=1}^{6} 30C_t$$

El costo total en que se incurre durante el horizonte de planeación es la suma de todos los costos antes mencionados y está dado por

$$\sum_{t=1}^{6} 640W_t + \sum_{t=1}^{6} 6O_t + \sum_{t=1}^{6} 300H_t + \sum_{t=1}^{6} 500L_t + \sum_{t=1}^{6} 2I_t + \sum_{t=1}^{6} 5S_t + \sum_{t=1}^{6} 10P_t + \sum_{t=1}^{6} 30C_t \quad \textbf{(8.1)}$$

El objetivo de Red Tomato es encontrar un plan agregado que minimice el costo total (ecuación 8-1) en que se incurre durante el horizonte de planeación.

Los valores de las variables de decisión en la función objetivo no pueden establecerse de manera arbitraria. Se sujetan a varias restricciones definidas por políticas de capacidad y operación disponibles. El siguiente paso en el establecimiento del modelo de planeación agregada es definir con claridad las restricciones que vinculan las variables de decisión.

Restricciones

Ahora el vicepresidente de Red Tomato debe especificar las restricciones que las variables de decisión no deben violar. Son las siguientes:

1. ***Restricciones de fuerza de trabajo, contratación y despido.*** El tamaño de la fuerza de trabajo W_t en el periodo t se obtiene sumando el número de contrataciones H_t en el periodo t al tamaño de la fuerza de trabajo W_{t-1} en el periodo $t - 1$, y restando el número de despidos L_t en el periodo t como sigue:

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t \quad \text{o} \quad t = 1, \ldots, 6 \qquad \textbf{(8.2)}$$

El tamaño inicial de la fuerza de trabajo está dado por $W_0 = 80$.

2. ***Restricciones de capacidad.*** En cada periodo la cantidad producida no puede exceder la capacidad disponible. Este conjunto de restricciones limita la producción total por la capacidad total internamente disponible (la cual se determina con base en las horas laborales disponibles, regulares o extra). En esta restricción no se incluye la producción subcontratada, debido a que la restricción se limita a la producción dentro de la planta. Como cada trabajador produce 40 unidades por mes en tiempo regular (cuatro horas por unidad como se especifica en la tabla 8-3) y una unidad por cada cuatro horas de tiempo extra, tenemos lo siguiente:

$$P_t \leq 40W_t + \frac{O_t}{4} \quad \text{o} \quad t = 1, \ldots, 6 \qquad \textbf{(8.3)}$$

3. ***Restricciones de balance de inventario.*** El tercer conjunto de restricciones balancea el inventario al final de cada periodo. La demanda neta en el periodo t se obtiene como la suma de la demanda actual D_t y la demanda previa pendiente S_{t-1}. Esta demanda se satisface con la producción actual (producción interna P_t o producción subcontratada C_t) y el inventario previo I_{t-1} (en cuyo caso puede sobrar algo de inventario I_t) o una parte de él se puede quedar pendiente S_t. Esta relación se expresa por la siguiente ecuación:

$$I_{t-1} + P_t + C_t = D_t + S_{t-1} + I_t - S_t \quad \text{o} \quad t = 1, \ldots, 6 \qquad \textbf{(8.4)}$$

El inventario inicial está dado por $I_0 = 1{,}000$, el inventario final debe ser al menos de 500 unidades (es decir, $I_6 \geq 500$) e inicialmente no hay pendientes (es decir, $S_0 = 0$).

4. ***Restricciones que limitan el tiempo extra.*** El cuarto conjunto de restricciones requiere que ningún empleado trabaje más de 10 horas de tiempo extra cada mes. Este requerimiento limita la cantidad total de horas de tiempo extra disponibles como sigue:

$$O_t \leq 10W_t \quad \text{o} \quad t = 1, \ldots, 6 \qquad \textbf{(8.5)}$$

Además, cada variable debe ser no negativa y no debe haber pendientes al final del periodo 6 (es decir, $S_6 = 0$).

Cuando se implementa el modelo en Microsoft Excel, lo que analizaremos más adelante, es más fácil si todas las restricciones se escriben de modo que el lado derecho para cada restricción sea cero. La restricción que limita el tiempo extra (ecuación 8-5) en esta forma se escribe como

$$O_t - 10\, W_t \leq 0 \text{ con } t = 1,\ldots, 6$$

Observemos que es fácil agregar restricciones que limiten la cantidad comprada a subcontratistas cada mes o el número máximo de empleados que deben ser contratados o despedidos. También puede acomodarse cualquier otra restricción que limite los pendientes o inventarios. Idealmente, el número de empleados contratados o despedidos deben ser variables enteras. Las variables fraccionarias se pueden justificar si algunos empleados trabajan sólo parte de un mes. Tal programa lineal se puede resolver con la herramienta Solver de Excel.

Si suponemos que el inventario promedio en el periodo t es el promedio de los inventarios inicial y final, es decir $(I_{t-1} + I_t)/2$, el inventario promedio durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Inventario promedio} = \frac{(I_0 + I_T)/2 + \left(\sum_{t=1}^{T-1} I_t\right)}{T}$$

El tiempo promedio que las unidades permanecen en el inventario durante el horizonte de planeación se obtiene utilizando la ley de Little (tiempo de flujo promedio = inventario promedio/producción). El tiempo promedio en inventario se expresa como

$$\text{Tiempo promedio en inventario} = \left[\frac{(I_0 + I_T)/2 + \left(\sum_{t=1}^{T-1} I_t\right)}{T}\right] \Bigg/ \left[\frac{\left(\sum_{t=1}^{T-1} D_t\right)}{T}\right]$$

Al optimizar la función objetivo (minimizando el costo en la ecuación 8.1), sujeta a las restricciones enumeradas (ecuaciones 8.2 a 8.5), el vicepresidente obtiene el plan agregado que se muestra en la tabla 8-4. (Páginas adelante analizamos cómo se realiza esta optimización con Excel).

Para este plan agregado tenemos lo siguiente:

Costo total durante el horizonte de planeación = $422.660

Red Tomato despide un total de 16 empleados a principios de enero. Después de eso, la compañía mantiene la fuerza de trabajo y el nivel de producción. Durante el mes de abril utiliza al subcontratista y

Tabla 8-4 Plan agregado para Red Tomato

Periodo t	Núm. de contratados, H_t	Núm. de despedidos, L_t	Tamaño de la fuerza de trabajo, W_t	Tiempo extra, O_t	Inventario, I_t	Desabasto, S_t	Subcontratación, C_t	Producción total, P_t
0	0	0	80	0	1,000	0	0	
1	0	16	64	0	1,960	0	0	2,560
2	0	0	64	0	1,520	0	0	2,560
3	0	0	64	0	880	0	0	2,560
4	0	0	64	0	0	220	144	2,560
5	0	0	64	0	140	0	0	2,560
6	0	0	64	0	500	0	0	2,560

mantiene un pendiente sólo de abril a mayo. En todos los demás meses, no planea desabastos. De hecho, Red Tomato mantiene inventario en todos los demás periodos. Describimos este inventario como estacional ya que se mantiene en previsión de un futuro incremento de la demanda. Dado el precio de venta de $40 por unidad y ventas totales de 16,000 unidades, el ingreso durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Ingreso durante el horizonte de planeación} = 40 \times 16{,}000 = \$640{,}000$$

El inventario estacional promedio durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Inventario estacional promedio} = \frac{(I_0 + I_6)\Big/2 + \left(\sum_{t=1}^{5} I_t\right)}{T} = \frac{5{,}250}{6} = 875$$

El tiempo de flujo promedio para este plan agregado durante el horizonte de planeación (utilizando la ecuación 8.6) está dado por

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{875}{2{,}667} = 0.33 = 0.33 \text{ meses}$$

Si la fluctuación estacional de la demanda crece, la sincronización de la oferta y la demanda se hace más difícil, y el resultado es un incremento o del inventario o de los pendientes, así como también un incremento del costo total para la cadena de suministro. Esto se ilustra en el ejemplo 8-1, en el cual el pronóstico de la demanda es más variable.

EJEMPLO 8-1 Impacto de una mayor variabilidad en la demanda

Todos los datos son exactamente los mismos que ya utilizamos en el análisis de Red Tomato, excepto el pronóstico de la demanda. Suponga que la misma demanda total (16,000 unidades) se distribuye a lo largo de los seis meses, de tal modo que la fluctuación estacional de la demanda sea mayor, como se muestra en la tabla 8-5. Obtenga el plan agregado óptimo en este caso.

Análisis:

En este caso el plan agregado óptimo (utilizando los mismos costos que antes) se muestra en la tabla 8-6.

Observe que la producción mensual permanece igual, pero tanto los inventarios como los desabastos (*backlogs*) se incrementan en comparación con el plan agregado que aparece en la tabla 8-4 para el perfil de demanda en la tabla 8-2. El costo de satisfacer el nuevo perfil de demanda que aparece en la tabla 8-5 es más alto, $433,080 (comparado con $422,660 para el perfil de demanda previo de la tabla 8-2).

Tabla 8-5 Pronóstico de la demanda con una mayor fluctuación estacional

Mes	Pronóstico de la demanda
Enero	1,000
Febrero	3,000
Marzo	3,800
Abril	4,800
Mayo	2,000
Junio	1,400

Tabla 8-6 Plan agregado óptimo para la demanda que aparece en la tabla 8-5

Periodo t	Núm. de contratados, H_t	Núm. de despedidos, L_t	Tamaño de la fuerza de trabajo, W_t	Tiempo extra, O_t	Inventario, I_t	Desabasto, S_t	Subcontratación, C_t	Producción total, P_t
0	0	0	80	0	1,000	0	0	
1	0	16	64	0	2,560	0	0	2,560
2	0	0	64	0	2,12	0	0	2,560
3	0	0	64	0	880	0	140	2,560
4	0	0	64	0	0	1,220	144	2,560
5	0	0	64	0	0	660	0	2,560
6	0	0	64	0	500	0	0	2,560

El inventario estacional durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Inventario estacional} = \frac{[(I_0 + I_T)/2] + \sum_{t=1}^{T-1} I_t}{T} = \frac{6{,}310}{6} = 1{,}052$$

El tiempo de flujo promedio de este plan agregado durante el horizonte de planeación (utilizando la ecuación 8.6) está dado por

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{1{,}052}{2{,}667} = 0.39 \text{ meses}$$

En este ejemplo vemos que el incremento en la variabilidad de la demanda por parte del minorista incrementa el inventario estacional, así como los costos planeados.

Utilizando el ejemplo de Red Tomato, también vemos que la compensación óptima cambia conforme los costos cambian. Esto se ilustra en el ejemplo 8-2, en el cual demostramos que conforme los costos de contratación y despido se reducen, es mejor variar la capacidad con la demanda al mismo tiempo que se tiene menos inventario y pendientes.

EJEMPLO 8-2 Impacto de los costos bajos de contratación y despido

Suponga que la demanda en Red Tomato es como se muestra en la tabla 8-2 y que los demás datos son los mismos, excepto que ahora los costos de contratación y despido son de $50 cada uno. Evalúe el costo total correspondiente al plan agregado de la tabla 8-4. Sugiera un plan agregado óptimo para la nueva estructura de costos.

Análisis:

Si los costos de contratación y despido se reducen a $50 cada uno, el costo correspondiente al plan agregado de la tabla 8-4 se reduce de $422,660 a $412,780. Tomando en cuenta este nuevo costo y determinando un nuevo plan agregado óptimo se obtiene el plan que se muestra en la tabla 8-7. Observe que el tamaño de la fuerza de trabajo fluctúa entre un valor alto de 87 y un valor bajo de 45, en contraste con el valor estable de 64 como se ve en la tabla 8-4.

Como se esperaba, el tamaño de la fuerza de trabajo varía (debido a que el costo de variar la capacidad se redujo) mientras que el inventario y los desabastos se redujeron comparados con el plan agregado en la tabla 8-4. El costo total del plan agregado de la tabla 8-7 es de $412,780 comparado con $422,660 (para el plan agregado de la tabla 8-4) si los costos de contratación y despido son de $50 cada uno.

Tabla 8-7 Plan agregado óptimo para el costo de contratación y despido de $50/trabajador

Periodo t	Núm. de contratados, H_t	Núm. de despedidos, L_t	Tamaño de la fuerza de trabajo, W_t	Tiempo extra, O_t	Inventario, I_t	Desabasto, S_t	Subcontración, C_t	Producción total, P_t
0	0	0	80	0	1,000	0	0	
1	0	35	45	0	1,200	0	0	1,800
2	0	0	45	0	0	0	0	1,800
3	42	0	87	0	280	0	0	3,480
4	0	0	87	0	0	20	20	3,480
5	0	26	61	0	220	0	0	2,440
6	1	0	62	0	500	0	0	2,480

El inventario estacional durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Inventario estacional} = \frac{[(I_0 + I_T)/2] + \sum_{t=1}^{T-1} I_t}{T} = \frac{2{,}450}{6} = 408$$

El tiempo de flujo promedio para este plan agregado durante el horizonte de planeación (utilizando la ecuación 8.6) está dado por

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{408}{2{,}667} = 0.15 \text{ meses}$$

En el ejemplo 8-2 vemos que el incremento en flexibilidad de volumen (reduciendo el costo de contratación y despido) no sólo reduce el costo total sino que también desplaza el balance óptimo hacia el uso de la flexibilidad de volumen al mismo tiempo que mantiene bajos los inventarios y permite menos desabasto.

Error de pronóstico en planes agregados

La metodología de planeación agregada que hemos estado analizando en este capítulo no toma en cuenta el error de pronóstico; sin embargo, sabemos que todos los pronósticos tienen errores. Para mejorar la calidad de estos planes agregados deben considerarse los errores de pronóstico, los cuales se manejan utilizando un *inventario de seguridad*, definido como un inventario mantenido para satisfacer una demanda que es mayor que la pronosticada (que se analiza a fondo en el capítulo 12), o bien una *capacidad de seguridad*, definida como una capacidad utilizada para satisfacer una demanda que es mayor que la pronosticada. Una compañía puede crear un amortiguador para el error de pronóstico utilizando inventario de seguridad y capacidad de seguridad en una variedad de formas, algunas de las cuales se enumeran a continuación:

- Utilizar el tiempo extra como una forma de capacidad de seguridad.
- Contar permanentemente con una fuerza de trabajo extra como una forma de capacidad de seguridad.
- Utilizar subcontratistas como una forma de capacidad de seguridad.
- Acumular y mantener inventarios como una forma de inventario de seguridad.
- Comprar capacidad o producto en un mercado abierto o al contado como una forma de capacidad de seguridad.

En la siguiente sección explicamos cómo implementar la metodología de programación lineal para la planeación agregada utilizando Microsoft Excel.

8.5 PLANEACIÓN AGREGADA EN EXCEL

A continuación analizamos cómo generar el plan agregado para Red Tomato en la tabla 8-4 utilizando Excel. Para acceder a las capacidades de programación lineal de Excel, utilizamos Solver (Data | Analysis | Solver). Para comenzar, necesitamos crear una tabla, la cual ilustramos con la figura 8-1, que contenga las siguientes variables de decisión:

W_t = tamaño de la fuerza laboral en el mes t, $t = 1,\ldots,6$

H_t = número de empleados contratados al principio del mes t, $t = 1,\ldots,6$

L_t = número de empleados despedidos al principio del mes t, $t = 1,\ldots,6$

P_t = número de unidades producidas en el mes t, $t = 1,\ldots.6$

I_t = inventario al final del mes t, $t = 1,\ldots,6$

S_t = número de unidades en desabasto al final del mes t, $t = 1,\ldots,6$

C_t = número de unidades subcontratadas en el mes t, $t = 1,\ldots,6$

O_t = número de horas de tiempo extra trabajadas en el mes t, $t = 1,\ldots,6$

La figura 8-1 ilustra cómo debe verse esta tabla. Las variables de decisión se encuentran en las celdas B5 a I10, y cada celda corresponde a una variable de decisión. Por ejemplo, la celda D7 corresponde al tamaño de la fuerza de trabajo del periodo 3. Comenzamos poniendo todas las variables en 0 como se muestra en la figura 8-1.

También observamos que la columna J contiene la demanda real. Se incluye la información de la demanda porque se requiere para calcular el plan agregado.

El segundo paso es construir una tabla para las restricciones de las ecuaciones 8.2 a 8.5. La tabla de restricciones se construye como se muestra en la figura 8-2.

La columna M contiene las restricciones de la fuerza de trabajo (ecuación 8.2), la columna N contiene las restricciones de capacidad (ecuación 3), la columna O contiene las restricciones de balance de inventario (ecuación 8.4), y la columna P contiene las restricciones de tiempo extra (ecuación 8.5. Estas restricciones se aplican a cada uno de los seis periodos.

Cada restricción podrá escribirse en Solver como

$$\text{Valor de la celda } \{\leq, =, \text{o} \geq\}\ 0$$

En nuestro caso tenemos las restricciones

$$\text{M5:M10} = 0,\ \text{N5:N10} \geq 0,\ \text{O5:O10} = 0,\ \text{P5:P10} \geq 0$$

El tercer paso es crear una celda que contenga la función objetivo, la cual es como se juzga cada solución. No es necesario que esta celda contenga toda la fórmula pero puede escribirse como una fórmula utilizando

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Variables de decisión para el plan agregado									
2		H_t	L_t	W_t	O_t	I_t	S_t	C_t	P_t	
3	Periodo	Contratados	Despedidos	Fuerza de trabajo	Tiempo extra	Inventario	Desabasto	Subcontrato	Producción	Demanda
4	0	0	0	80	0	1,000	0	0		
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,600
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3,000
7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3,200
8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3,800
9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2,200
10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2,200

FIGURA 8-1 Área de la hoja de cálculo para las variables de decisión.

	M	N	O	P
1	*Restricciones*			
2				
3	*Fuerza de trabajo*	*Capacidad*	*Inventario*	*Tiempo extra*
4				
5	-80	0	-600	0
6	0	0	-3000	0
7	0	0	-3200	0
8	0	0	-3800	0
9	0	0	-2200	0
10	0	0	-2200	0

Celda	Fórmula de celda	Ecuación	Copiada a
M5	=D5 - D4 - B5 + C5	8.2	M6:M10
N5	=40*D5 + E5/4 -I5	8.3	N6:N10
O5	=F4-G4+I5+H5-J5-F5+G5	8.4	O6:O10
P5	=-E5 + 10*D5	8.5	P6:P10

FIGURA 8-2 Área de la hoja de cálculo para las restricciones.

celdas con cálculos intermedios de costos. Para el ejemplo de Red Tomato, el área de la hoja de cálculo para cálculos de costos se muestra en la figura 8-3. La celda B15, por ejemplo, contiene los costos de contratación incurridos en el periodo 1. La fórmula en la celda B15 es el producto de la celda B5 y la celda que contiene el costo de contratación por trabajador, la cual se obtiene de la tabla 8-3. Las demás celdas se llenan del mismo modo. La celda C22 contiene la suma de las celdas B15 a I20, que representa el costo total.

El cuarto paso es utilizar Data | Analysis | Solver para invocar a Solver. Dentro del cuadro de diálogo Solver Parameters, introducimos la siguiente información para representar el modelo de programación lineal:

(Set Target Cell) Establecer celda destino: C22

(Equal To) Igual a: Seleccionar *Min*

(By Changing Cells) Intercambiando celdas: B5:I10

(Subject to the constraints) Sujeto a las restricciones:

B5:C10 = entero {El número de trabajadores contratados o despedidos es entero}

B5:I10 ≥ 0 {Todas las variables de decisión son no negativas}

F10 ≥ 500 {El inventario al final del periodo 6 es al menos de 500}

G10 = 0 {El desabasto al final del periodo 6 es igual a 0}

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
12	*Costos para el plan agregado*								
14	*Periodo*	*Contratos*	*Despidos*	*Tiempo regular*	*Tiempo extra*	*Inventario*	*Desabasto*	*Subcontrato*	*Material*
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2	0	0	0	0	0	0	0	0
17	3	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4	0	0	0	0	0	0	0	0
19	5	0	0	0	0	0	0	0	0
20	6	0	0	0	0	0	0	0	0
22	*Costo total=*		$ -						

FIGURA 8-3 Área de la hoja de cálculo para cálculos de costos.

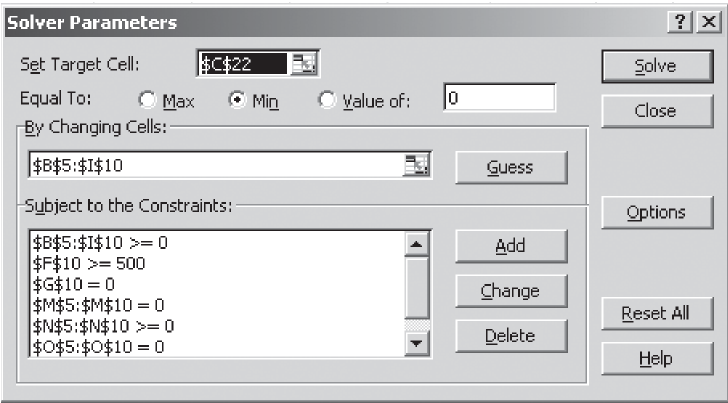


FIGURA 8-4 Cuadro de diálogo de Solver Parameters.

M5:M10 $= 0\{W_t - W_{t-1} - H_t + L_t = 0$ para $t = 1, \ldots, 6\}$
N5:N10 $\geq 0\ \{40W_t + O_t/4 - P_t \geq 0$ para $t = 1, \ldots, 6\}$
O5:O10 $= 0\ \{I_{t-1} - S_{t-1} + P_t + C_t - D_t - I_t + S_t = 0$ para $t = 1, \ldots, 6\}$
P5:P10 $\geq 0\ \{10W_t - O_t \geq 0$ para $t = 1, \ldots, 6\}$

El cuadro de diálogo Solver Parameters es el que se muestra en la figura 8-4. Hacemos clic en el botón Solve. Debe aparecer la solución óptima. Si Solver no devuelve la solución óptima, resolvemos el problema de nuevo después de guardar la solución que Solver regresó. (En algunos casos quizá se requieran varias repeticiones de este paso debido a algunas imperfecciones de la versión de Solver de Excel. Hay complementos disponibles a un costo relativamente bajo que no tienen estos problemas). La solución óptima resulta ser la que se muestra en la tabla 8-4.

8.6 CONSTRUCCIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MAESTRO PRELIMINAR

A partir de un plan agregado, un planificador debe desagregar la información disponible y construir un programa de producción maestro preliminar (MPS, *Master Production Schedule*) que identifique los lotes producidos en cada periodo al nivel de cada familia. Regresamos al ejemplo de Red Tomato para ilustrar un método simple de desagregar y agregar un plan. Aunque este método no es necesariamente óptimo, es simple de implementar y permite verificar la factibilidad. Hay métodos más complejos (por ejemplo, vea Bitran y Hax (1981)) disponibles si un planificador desea buscar mejores soluciones. Estos métodos, sin embargo, son difíciles de implementar y es posible que no reflejen todas las realidades complejas. Esa es la razón de que propongamos este método simple.

Consideremos el plan agregado que aparece en la tabla 8-4. El plan exige una fuerza de trabajo de 64 y una producción de 2,560 unidades agregadas en el periodo 1. Sabemos que la restricción de producción es factible al nivel agregado, pero necesitaremos verificar la factibilidad al nivel desagregado. El primer paso es dividir la cantidad de producción de 2,560 entre las seis familias. Lo hacemos en la proporción de ventas esperadas como se muestra en la tabla 8-8. Por tanto, el plan es producir 256 unidades de la familia A en el periodo 1 ya que representa 10% de las ventas. El siguiente paso es identificar el número de lotes planeados por cada familia. Para obtener la factibilidad del plan, dividimos la cantidad de producción planeada entre el tamaño promedio del lote y redondear la respuesta hacia abajo. Para la familia A, el número planeado de configuraciones (lotes) es por tanto de 256/50 = 5.12 redondeado hacia abajo, lo que nos da 5. Como resultado, el tamaño de lote promedio de la familia A producido en este periodo será mayor que 50 (alrededor de 51). Obtenemos del mismo modo el número planeado de configuraciones (lotes) para cada una de las demás familias en el periodo 1 como se muestra en la tabla 8-8. Para verificar la factibilidad del programa planeado, calculamos el tiempo de configuración y el tiempo de producción para el número planeado de

Tabla 8-8 Desagregación del plan agregado en Red Tomato Tools para el periodo 1

Familia	Tiempo de configuración/ Lote (horas)	Tamaño de lote promedio	Tiempo de producción/ Unidad (horas)	Cantidad de producción	Número de configuraciones	Tiempo de configuración (horas)	Tiempo de producción (horas)
A	8	50	5.60	256	5	40	1,433.6
B	6	150	3.00	640	4	24	1,920.0
C	8	100	3.80	512	5	40	1,945.6
D	10	50	4.80	256	5	50	1,228.8
E	6	100	3.60	512	5	30	1,843.2
F	5	75	4.30	384	5	25	1,651.2

lotes y unidades de cada familia de productos. Según la tabla 8-8, la producción total planeada y el tiempo de configuración es de 10,231.4 horas (209 por configuración + 10,022.4 por producción). Dadas las 64 personas planeadas, el tiempo de producción disponible en el periodo es de $64 \times 160 = 10{,}240$ horas. El programa planeado, por tanto, parece factible.

8.7 ROL DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN EN LA PLANEACIÓN AGREGADA

La planeación agregada es indiscutiblemente el área de la cadena de suministro en la cual se ha utilizado más la tecnología de la información. Los primeros productos de TI para cadena de suministro fueron los módulos de planeación agregada, más conocidos como planeación de fábrica, producción o fabricación. Algunos de los primeros módulos se enfocaban sólo en obtener un plan de producción factible sujeto a restricciones que surgían de la demanda y capacidad disponible. Los módulos más recientes proporcionaban herramientas que eligen una solución óptima de entre los planes de producción factibles, con base en objetivos como los de producción incrementada o costos reducidos.

Estas soluciones clásicas en general formulaban el problema de planeación agregada como un programa lineal (PL) para obtener un programa de producción de artículos que deben fabricarse en cada periodo. En la actualidad algunos módulos de planeación incorporan la optimización no lineal para considerar el hecho de que no todas las restricciones o funciones objetivo razonables son funciones lineales. Sin embargo, dada la gran cantidad de datos considerados en la producción de planes agregados, los que pueden dar por resultado problemas no lineales computacionalmente prohibitivos, y la capacidad de crear aproximaciones lineales de funciones no lineales, la programación lineal es con frecuencia la mejor manera de resolver estos problemas.

Los módulos de planeación de la cadena de suministro a veces combinan tanto la planeación de la producción como la planeación del inventario. El módulo de planeación de la cadena de suministro utiliza los resultados del módulo de pronóstico como una restricción al configurar el programa de producción y los niveles de inventario. Estos programas de producción y niveles de inventario son utilizados por el sistema de ejecución para la producción real de los bienes y el establecimiento de los niveles de inventario a lo largo de la cadena de suministro. Dada la complejidad del problema, los módulos de planeación agregada pueden agregar un valor significativo incluso a compañías pequeñas.

- La TI puede agregar valor al ámbito de la planeación agregada a lo largo de varias dimensiones:
- La capacidad de manejar grandes problemas.
- La capacidad de manejar problemas complejos (mediante optimización no lineal o aproximaciones lineales).

La capacidad de interactuar con otros sistemas de TI centrales como administración del inventario y aprovisionamiento.

Debido a que los problemas de planeación agregada son muy complejos, a veces no hay otra manera de llegar a una solución factible más que a través de la TI.

Los fabricantes importantes de software en esta área incluyen las empresas de software ERP (SAP y Oracle) y varios otros vendedores que con frecuencia especializan su software de planeación por industria. En la última década, SAP y Oracle han dominado este espacio con vendedores especializados que han visto que es difícil sobrevivir.

8.8 IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANEACIÓN AGREGADA EN LA PRÁCTICA

1. ***Piense más allá de la compañía a lo largo de toda la cadena de suministro.*** La mayor parte de la planeación agregada se limita hoy sólo al alcance de la compañía. Sin embargo, muchos factores externos a la empresa y a lo largo de la cadena de suministro pueden afectar en gran manera el plan agregado óptimo. Por consiguiente, cuando planifique evite la trampa de pensar sólo en su compañía. Trabaje con los socios cadena abajo para producir pronósticos, con socios cadena arriba para determinar restricciones, y con cualesquier otras entidades de la cadena de suministro que puedan mejorar la calidad de los datos de entrada al plan agregado. El plan es sólo tan bueno como lo sea la calidad de los datos de entrada. Así que la utilización de la cadena de suministro para incrementar la calidad de los datos de entrada mejorará en gran medida la calidad del plan agregado. Asegúrese también de comunicar el plan agregado a todos los socios de la cadena de suministro que se verán afectados por él.

2. ***Haga planes flexibles, ya que los pronósticos siempre son imprecisos.*** Los planes agregados se basan en pronósticos de la demanda futura. Dado que estos pronósticos siempre son imprecisos en cierto grado, el plan agregado necesita tener cierta flexibilidad para que sea útil. Al integrar flexibilidad en el plan, cuando la demanda futura cambie u ocurran otros cambios como incrementos de costos, el plan puede ajustarse apropiadamente para manejar la nueva situación.

¿Cómo creamos esta flexibilidad? Además de las sugerencias previas del capítulo, recomendamos que un gerente realice un análisis de sensibilidad en los datos de entrada a un plan agregado. Por ejemplo, si el plan recomienda expandir la capacidad costosa mientras enfrenta una demanda incierta, examine el resultado de un nuevo plan agregado cuando la demanda es más alta y más baja de lo esperado. Si el examen revela un pequeño ahorro con la expansión de la capacidad cuando la demanda es alta pero un gran incremento del costo cuando la demanda es más baja de lo esperado, posponer la decisión de invertir en la capacidad es una opción potencialmente atractiva. Utilizar el análisis de sensibilidad en los datos de entrada al plan agregado permite que el planificador elija la mejor solución para el rango de posibilidades que pudieran ocurrir.

3. ***Reinicie el plan agregado cada vez que surjan datos nuevos.*** Como ya lo mencionamos, los planes agregados proporcionan un mapa se los siguientes 3 a 18 meses. Esto no significa que la compañía deba ejecutar planes agregados sólo una vez cada 3 a 18 meses. Conforme los datos de entrada, como los pronósticos de la demanda, cambian, los gerentes deben utilizar los valores más recientes de estos datos y ejecutan de nuevo el plan agregado. Utilizando los datos más recientes, el plan evitará la suboptimización que se basara en datos antiguos, y producirá una mejor solución.

4. ***Use la planeación agregada conforme se incrementa la utilización de la capacidad.*** Sorpresivamente, muchas compañías no crean planes agregados y en su lugar confían solamente en los pedidos de sus distribuidores o almacenes para determinar sus programas de producción. Estos pedidos son controlados por la demanda real o a través de algoritmos de administración de inventarios. Si una compañía no tiene problemas para satisfacer la demanda con eficiencia de esta manera, entonces quizá la falta de planeación agregada no le perjudique significativamente. Sin embargo, cuando la utilización llega a ser alta y la capacidad es un tema a considerar, confiar en los pedidos para establecer el programa de producción puede ocasionar problemas de capacidad. Cuando la utilización es alta la probabilidad de producir para surtir todos los pedidos conforme van llegando es baja. Se requiere planificar para utilizar mejor la capacidad para satisfacer la demanda pronosticada. Por consiguiente, conforme se incrementa la utilización de la capacidad, se vuelve más importante realizar la planeación agregada.

8.9 RESUMEN DE LOS OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

1. ***Identificar las decisiones que se solucionan mejor por planeación agregada.*** La planeación agregada se utiliza mejor para determinar las decisiones de capacidad, producción e inventario para cada periodo a lo largo de 3 a 18 meses. Es importante realizar la planeación agregada cuando la capacidad es limitada y los tiempos de entrega son largos.

2. ***Entender la importancia de la planificación agregada como una actividad de la cadena de suministro.*** La planeación agregada tiene un impacto significativo en el desempeño de la cadena de suministro y debe ser vista como una actividad que involucra a todos los socios de la cadena. Un plan agregado preparado por una empresa de manera aislada no es muy útil porque no toma en cuenta todos los requerimientos de la etapa del cliente y las restricciones de la etapa del proveedor. La planeación agregada local no sirve para igualar la oferta y la demanda. Una buena planeación agregada se realiza en colaboración tanto con los clientes como con los proveedores porque se requieren datos precisos de ambas etapas. La calidad de estos datos, en términos tanto del pronóstico de la demanda que se debe satisfacer como de las restricciones que deben manejarse, determina la calidad del plan agregado. Los resultados del plan agregado también deben compartirse a través de la cadena de suministro ya que influyen en las actividades tanto de los clientes como de los proveedores. Para éstos el plan agregado determina los pedidos esperados; para los clientes, el plan agregado determina el suministro planeado.

3. ***Describir la información requerida para producir un plan agregado.*** Para crear un plan agregado, un planificador necesita un pronóstico de la demanda, información sobre costos y producción, y cualesquier restricciones de suministro. El pronóstico de la demanda consiste en una estimación de la demanda para cada periodo del horizonte de planeación. Los datos sobre producción y costos consisten en niveles de capacidad y costos para incrementarlos o reducirlos, costos de producción, costos de almacenar el producto, costos de desabasto del producto y cualesquier restricciones que limiten estos factores. Las restricciones del suministro determinan los límites en subcontratación (*outsoucing*), tiempo extra o materiales.

4. ***Explicar los trueques básicos a considerar cuando se crea un plan agregado.*** Los trueques básicos implican el balanceo del costo de la capacidad, el costo del inventario y el costo del desbasto para maximizar la rentabilidad. El incremento de cualquiera de las tres permite al planificador reducir las otras dos.

5. ***Formular y resolver problemas básicos de planeación agregada utilizando Microsoft Excel.*** Los problemas de la planeación agregada se pueden resolver en Excel estableciendo celdas para la función objetivo y las restricciones, y utilizando Solver para obtener la solución.

Preguntas para debate

1. ¿En qué industrias la planeación agregada sería particularmente importante?
2. ¿Cuáles son las características de las industrias de la pregunta 1 que las hacen buenas candidatas para la planeación agregada?
3. ¿Cuáles son las principales diferencias entre las estrategias de la planeación agregada?
4. ¿Qué tipos de industrias o situaciones están mejor adaptadas para la estrategia de persecución? ¿La estrategia de flexibilidad? ¿La estrategia de nivel?
5. ¿Cuáles son las principales categorías de costos requeridas como datos para la planeación agregada?
6. ¿Cómo afecta la disponibilidad de la subcontratación al problema de la planeación agregada?
7. Si en la actualidad una compañía emplea la estrategia de persecución y el costo de capacitación se incrementa dramáticamente, ¿cómo podría cambiar esto la estrategia de planeación agregada de la compañía?
8. ¿Cuáles son algunos temas clave a considerar cuando se elige una unidad agregada de análisis?
9. ¿Cómo puede emplearse la planeación agregada en un ambiente de alta incertidumbre en la demanda?

Ejercicios

1. Skycell, uno de los principales fabricantes europeos de teléfonos celulares, está preparando planes de producción para el año siguiente. Skycell ha trabajado con sus clientes (los proveedores del servicio) para obtener pronósticos de los requerimientos mensuales (en miles de teléfonos) como se muestra en la tabla 8-9.

   La manufactura es sobre todo una operación de ensamble y la capacidad se rige por el número de personas en la línea de producción. La planta opera 20 días por mes, ocho horas cada día. Una persona puede ensamblar un teléfono cada 10 minutos. Los trabajadores reciben un salario de 20 euros por hora y una prima de 50% por tiempo extra. La planta emplea actualmente 1,250 trabajadores. El costo de los componentes de cada teléfono totaliza 20 euros. Dada la rápida declinación de los precios de los componentes y de los productos terminados, mantener inventario de un mes al siguiente incurre en un costo de 3 euros por teléfono por mes. Actualmente Skycell no tiene una política de despidos en vigor. El tiempo extra está limitado a un máximo de 20 horas por mes por empleado. Suponga que Skycell tiene un inventario inicial de 50,000 unidades y que quiere terminar el año con el mismo nivel.

Tabla 8-9 Demanda mensual de teléfonos celulares en miles

Mes	Demanda
Enero	1,000
Febrero	1,100
Marzo	1,000
Abril	1,200
Mayo	1,500
Junio	1,600
Julio	1,600
Agosto	900
Septiembre	1,100
Octubre	800
Noviembre	1,400
Diciembre	1,700

a. Suponiendo que no hay pendientes, ni subcontratación, ni nuevas contrataciones, ¿cuál es el programa de producción óptimo? ¿Cuál es el costo anual de este programa?
b. ¿Existe algún valor para que la gerencia negocie un incremento del tiempo extra permitido por empleado por mes de 20 a 40 horas?
c. Reconsidere las partes (a) y (b) si Skycell inicia con sólo 1,200 empleados. Reconsidere las partes (a) y (b) si Skycell inicia con 1,300 empleados. ¿Qué ocurre con el valor del tiempo extra adicional conforme el tamaño de la fuerza de trabajo se reduce?
d. Considere la parte (a) para el caso en que Skycell tiene como objetivo un programa de producción tal que la cantidad producida cada mes no exceda la demanda promedio durante los siguientes 12 meses (1,241,667) por 50,000 unidades. Por tanto, la producción mensual incluyendo el tiempo extra no debe ser de más de 1,291,667. ¿Cuál sería el costo de este programa de producción de nivel? ¿Cuál es el valor de la flexibilidad del tiempo extra?

2. Reconsidere los datos de Skycell del ejercicio 1. Suponga que la planta tiene 1,250 empleados y ninguna política de despidos. El tiempo extra está limitado a 20 horas por empleado por mes. Un tercero ha ofrecido producir teléfonos celulares como se requiera a un costo de $26 por unidad (incluye los costos de los componentes de $20 por unidad).
a. ¿Cuál es el promedio por unidad de la producción interna (incluyendo los costos de mantenimiento del inventario y tiempo extra) si no se utiliza el tercero?
b. ¿Cómo debe utilizar Skycell el tercero? ¿Cómo cambia su respuesta si el tercero ofrece un precio de $25 por unidad?
c. ¿Debe Skycell utilizar el tercero si el costo por unidad es de $28?
d. ¿Por qué utilizaría Skycell el tercero aun cuando el precio por unidad de éste fuera más alto que el costo promedio por unidad (incluyendo el mantenimiento del inventario y el tiempo extra) de la producción interna?

3. Reconsidere los datos de Skycell del ejercicio 1. Suponga que la planta tiene 1,250 empleados y ninguna política de despidos. El tiempo extra está limitado a lo sumo a 20 horas por empleado por mes. Suponga también que no hay ninguna opción de subcontratación. Skycell dispone de un equipo de 50 personas que desean trabajar como empleados temporales. El costo de integrarlos es de 800 euros por empleado, y el costo de despido es de 1,200 euros por empleado.
a. ¿Cuál es el programa óptimo de producción, contratación y despido?
b. ¿Cómo cambia el programa óptimo si el grupo temporal crece de 50 a 100?
c. Con respecto a tener 1,250 empleados permanentes y 50 temporales, ¿ganará Skycell significativamente si mantiene sólo 1,100 empleados permanentes pero cuenta con 200 empleados temporales?
d. Considere el caso en que Skycell tiene 1,250 empleados permanentes y 50 empleados temporales. ¿Gana más Skycell si elimina su política de no despidos para sus empleados permanentes, o incrementa el grupo de empleados temporales de 50 a 100? Suponga que los empleados permanentes pueden ser contratados o despedidos al mismo costo que los empleados temporales.

4. FlexMan, un fabricante por contrato de aparatos electrónicos, utiliza su planta de Topeka, Kansas, para producir dos categorías de productos: enrutadores e interruptores. Una consulta con los clientes ha indicado que el pronóstico de la demanda por cada categoría durante los siguientes 12 meses (en miles de unidades) es como se muestra en la tabla 8-10.

La fabricación es principalmente una operación de ensamble, y la capacidad está regida por el número de personas en la línea de producción. La planta opera 20 días al mes, ocho horas al día. La producción de un enrutador requiere 20 minutos, y la producción de un interruptor implica 10 minutos del tiempo de un trabajador. Cada trabajador recibe $10 por hora con una prima de 50% por tiempo extra. La planta actualmente tiene 6,300 empleados. El tiempo extra está limitado a 20 horas por empleado por mes. La planta actualmente mantiene en inventario 100,000 enrutadores y 50,000 interruptores. El costo

Tabla 8-10 Demanda mensual de teléfonos celulares en miles

Mes	Demanda de enrutadores	Demanda de interruptores
Enero	1,800	1,600
Febrero	1,600	1,400
Marzo	2,600	1,500
Abril	2,500	2,000
Mayo	800	1,500
Junio	1,800	900
Julio	1,200	700
Agosto	1,400	800
Septiembre	2,500	1,400
Octubre	2,800	1,700
Noviembre	1,000	800
Diciembre	1,000	900

de mantener un enrutador en el inventario es de $2 por mes, y el de un interruptor es de $1 por mes. El costo de mantenimiento se incrementa debido a que el cliente paga los productos a tasas del mercado existente cuando los adquiere. Por tanto, si FlexMan produce con anticipación y mantiene un inventario, la compañía recupera menos debido a la rápida caída de los precios de los componentes.

a. Suponiendo que no hay pendientes, ni subcontratación, ni despidos, ni contrataciones nuevas, ¿cuál es el programa de producción óptimo para FlexMan? ¿Cuál es el costo anual de este programa? ¿Qué inventarios construye el programa de producción óptimo? ¿Parece esto razonable?
b. ¿Existe algún valor para que la gerencia negocie un incremento del tiempo extra permitido por empleado por mes de 20 a 40 horas? ¿Qué variables se ven afectadas por este cambio?
c. Reconsidere las partes (a) y (b) si FlexMan inicia con sólo 5,900 empleados. Reconsidere las partes (a) y (b) si FlexMan inicia con 6,700 empleados. ¿Qué ocurre con el valor del tiempo extra adicional conforme el tamaño de la fuerza de trabajo se reduce?

5. Reconsidere los datos de FlexMan del ejercicio 4. La empresa está considerando la opción de cambiar el tamaño de la fuerza de trabajo con la demanda. El costo de contratar un nuevo empleado es de $700 y el costo de un despido es de $1,000. Un empleado tarda dos meses en alcanzar una capacidad de producción total. Durante esos dos meses un nuevo empleado aporta sólo 50% de productividad. Anticipando un patrón de demanda similar para el siguiente año, FlexMan tiene el objetivo de terminar el año con 6,300 empleados.

b. ¿Cuál es el programa óptimo de producción, contratación y despidos? ¿Cuál es el costo de un programa como éste?
c. Si FlexMan pudiera mejorar su capacitación de modo que los empleados nuevos alcancen la productividad total de inmediato, ¿qué tanta mejoría del costo anual vería la compañía? ¿Cómo se ve afectada la política de contratación y despidos durante el año por este cambio?

6. FlexMan ha identificado a un tercero que desea producir enrutadores e interruptores como se requiera. El tercero cobrará $6 por enrutador y $4 por interruptor. Suponga que todos los demás datos del ejercicio 4, excepto los de contratación y despidos, se permiten como en el ejercicio 5.

a. ¿Cómo debería utilizar FlexMan al tercero si los nuevos empleados proporcionan sólo 50% de la productividad durante los primeros dos meses?
b. ¿Cómo debería utilizar FlexMan al tercero si los empleados nuevos son capaces de alcanzar la productividad total de inmediato?
c. ¿Por qué el uso del tercero cambia con la productividad de los empleados nuevos?

7. Regrese a los datos de FlexMan del ejercicio 4. La compañía ha firmado un acuerdo a nivel de servicio con sus clientes y se comprometió a mantener un inventario de seguridad de un mes al siguiente, que es igual al menos a 15% de la demanda del mes siguiente. Por tanto, FlexMan se compromete a mantener al menos $0.15 \times 1{,}800{,}000 = 270{,}000$ enrutadores y $0.15 \times 1{,}600{,}000 = 240{,}000$ interruptores en inventario de diciembre a enero.

a. Suponiendo que no hay pendientes, ni subcontratación, ni despidos, ni contrataciones nuevas, ¿cuál es el programa de producción óptimo para FlexMan? ¿Cuál es el costo anual de este programa?
b. ¿Qué tanto el contrato de servicio que exige inventarios mínimos incrementa los costos para FlexMan?
c. ¿Cuál sería el incremento del costo si FlexMan acordó 15% mínimo para interruptores pero sólo 5% mínimo para enrutadores? ¿Cuál sería el incremento en el costo si FlexMan acuerda sólo 5% mínimo para interruptores y 15% mínimo para enrutadores? ¿Cuál de los dos es mejor para FlexMan?

Bibliografía

Bitran, G.R. y A. Hax. (1981). Disaggregation and Resource Allocation Using Convex Knapsack Problems with Bounded Variables. *Management Science* 27, pp. 431-441.

Jacobs, F. Robert, Richard B. Chase y Nicholas J. Aquilano. (2009). *Operations and Supply Management*, 12a. ed. Nueva York: McGraw-Hill/Irwin.

Nahmias, Steven. (2009). *Production & Operations Analysis,* 6a. ed. Nueva York: McGraw-Hill/Irwin.

ESTUDIO DE CASO

Specialty Packaging Corporation, Parte B

Julie Williams, gerente de planeación de la planta de Specialty Packaging Corporation (SPC), salió de la junta con el equipo de pronóstico colaborativo con pronósticos y estimaciones de error para los próximos tres años. Entonces tenía que determinar cómo satisfacer esta demanda. Debido a que SPC subcontrató almacenamiento a sus socios de la cadena de suministro, una decisión que Julie tenía que tomar era la de utilizar almacenamiento público o privado. También tenía que decidir cuánto espacio de almacenamiento arrendar o construir si decidiera utilizar almacenamiento privado.

Tabla 8-11 Pronóstico de la demanda de envases transparentes y oscuros

Año	Trimestre	Pronóstico para plástico oscuro ('000 lb)	Pronóstico para plástico transparente ('000 lb)
2010	I	6,650	7,462
	II	4,575	18,250
	III	6,293	8,894
	IV	13,777	4,064
2011	I	7,509	8,349
	II	5,149	20,355
	III	7,056	9,891
	IV	15,399	4,507
2012	I	8,367	9,235
	II	5,721	22,461
	III	7,819	10,889
	IV	17,021	4,950
		MAD = 608	MAD = 786

SPC

Del análisis de este caso en el capítulo 7, recordemos que SPC procesa resina de poliestireno y la transforma en envases reciclables/desechables para la industria alimenticia. El poliestireno se compra a granel en forma de pelotillas de resina. La resina se descarga de los contenedores de ferrocarril o camiones remolque y luego se almacena en silos. La fabricación de envases para alimentos es un proceso de dos pasos. En el primero la resina se lleva a un extrusor el cual transforma las pelotillas en hojas de poliestireno que se enrollan. El plástico viene en dos formas, transparente y oscuro. Los rollos se utilizan de inmediato para fabricar envases o se almacenan. En el segundo paso los rollos se cargan en prensas termoformadoras, las cuales transforman las hojas en envases y los recortan de la hoja. Estos pasos de fabricación se muestran en la figura 7.11. En la actualidad, SPC opera durante 63 días hábiles cada trimestre. Cada día hábil se compone de ocho horas de tiempo regular y cualquier tiempo extra programado.

Pronóstico de la demanda para los próximos tres años

El equipo de pronóstico colaborativo utilizó los datos históricos de la demanda proporcionados en la tabla 7-4 complementados con datos de desabasto para desarrollar un pronóstico de la demanda trimestral de envases tanto de plástico transparente como oscuro. El pronóstico de la demanda entre 2010 y 2012 se muestra en la tabla 8-11.

Extrusores

El proceso de extrusión requiere mucho capital, lo mismo que las instalaciones requeridas para apoyarlo. La planta actualmente cuenta con 14 extrusores. Cada extrusor tiene una capacidad de procesamiento nominal de 3,000 libras por hora. Se requiere un cambio siempre que el extrusor cambia entre hojas transparentes y oscuras. SPC estima que por lo cambios se pierde 5% de la capacidad. Por tanto, la capacidad de procesamiento efectiva de un extrusor es de 2,850 libras por hora. Cada extrusor requiere seis trabajadores. SPC paga a cada trabajador $15 por hora incluidas las prestaciones. El tiempo extra se paga a 150% del salario de tiempo regular. Los trabajadores están limitados a 60 horas de tiempo extra por trimestre.

Los extrusores son muy caros y agregar un extrusor requiere la contratación de seis empleados adicionales. Cada nuevo extrusor incurre en un costo fijo de $80,000 por trimestre. Cualquier nuevo empleado contratado necesita capacitación. El costo de capacitación por empleado es de $3,000. Como resultado, SPC ha decidido no adquirir extrusores nuevos durante el horizonte de planeación actual. Durante cualquier trimestre, los extrusores disponibles pueden estar ociosos si no es necesario utilizarlos. El único ahorro en este caso es el salario de los trabajadores asociados. El despido de cada trabajador cuesta $2,500. Si los extrusores ociosos se ponen en línea, SPC incurre en un costo de capacitación de $3,000 por trabajador.

Prensas termoformadoras

Actualmente la planta tiene 25 prensas termoformadoras. Cada prensa requiere un operador y puede producir envases a razón de 2,000 libras por hora. SPC paga a cada operador $15 por hora incluyendo prestaciones. El tiempo extra se paga a 150% del salario de tiempo regular. Los trabajadores están limitados a 60 horas de tiempo extra por trimestre. Las prensas pueden estar ociosas si no es necesario usarlas. El despido de un operador de termoformadora cuesta $2,500 y la capacitación de un operador recién contratado cuesta $3,000.

Subcontratación

SPC tiene la opción de subcontratar la producción de hojas de plástico a uno de sus socios de la cadena de suministro; siempre hay suficiente capacidad disponible en el mercado abierto. SPC gasta $60 por cada 1,000 libras de hoja de plástico producidas por un subcontratista.

Prácticas de manejo de materiales

La resina comprada se almacena en silos. Como no hay escasez de resina en el mercado, es fácil comprarla a $10

por 1,000 libras cuando se requiere. Como resultado, la práctica de SPC ha sido comprar resina trimestralmente para igualar la producción planeada.

Como los extrusores producen rollos de hoja de plástico, se alimenta a las prensas termoformadoras con la cantidad requerida y el resto se transporta en camiones a uno de los dos almacenes públicos. Se requiere transporte otra vez para traer de vuelta las hojas del almacén cuando se requieren para alimentar las prensas termoformadoras. El costo de transporte total de SPC es de $2 por 1,000 libras de hoja de plástico. Cada trimestre, SPC sigue una política de primero utilizar las hojas almacenadas para termoformación y sólo entonces utilizar las hojas recién producidas. Al final del trimestre las hojas sobrantes se vuelven a almacenar. Esta política se sigue para garantizar que las hojas no se deterioren por el tiempo en almacenamiento.

Almacenamiento público

El almacenamiento público cobra a los clientes tanto por el manejo del material como por el almacenamiento. La planta de SPC contrata con almacenes locales para conservar el material a partir de mil libras. Los cargos por manejo son de $4 a $6 por 1,000 libras descargadas en el almacén. Los cargos por almacenamiento son de $10 a $12 por 1,000 libras en almacenamiento al final de cada trimestre. La planta de SPC negocia anualmente con los almacenes locales para establecer tarifas para cada elemento de costo.

Almacenamiento privado

La operación de un almacén privado requiere una inversión de capital para construir una instalación o para arrendar una instalación existente. Las tarifas de arrendamiento en cualquier lugar están determinadas por las economías de escala asociadas con los costos de construcción en ese lugar y el valor de la opción de un arrendamiento frente a un compromiso de capital en el largo plazo. En general los arrendamientos son forzosos por tres años, pero el plazo puede ser más corto dependiendo de la capacidad de negociación de una compañía dada. Existen varias opciones de arrendamiento viables para la planta de SPC, y todas son más favorables que la opción de construir una instalación nueva. Las tasas de arrendamiento promedian $4 por pie^2 por trimestre en cada ubicación. En promedio se requiere un pie^2 por cada 1,000 libras en almacenamiento.

El almacenamiento privado también origina costos de operación, tanto variables como fijos. Está disponible con un proveedor tercero de logística que ha acordado cobrar a SPC un costo de operación variable de $4 por 1,000 libras de hoja de plástico almacenadas por trimestre. Para obtener esta tarifa, SPC debe firmar un contrato de arrendamiento por tres años completos. En consecuencia, SPC pagará cada trimestre por el espacio, aun cuando no lo utilice para almacenamiento. SPC debe tomar en cuenta este costo cuando tome su decisión.

SPC debe considerar varias variables al determinar la cantidad de espacio de almacén que requiere. El espacio de almacenamiento utilizable es la fracción de un almacén que en realidad puede usarse para almacenar inventario. Se considera el espacio para pasillos, el espacio para los andenes de envío y recepción, el espacio para oficinas administrativas y la altura del techo. La densidad de almacenamiento es otra consideración. SPC también debe considerar la velocidad y tiempos de movimiento de los materiales debido a que el nivel de personal requerido y las configuraciones de almacenamiento dependen de ambos. Por ejemplo, si los materiales deben ser recuperados con rapidez, la disposición del almacén debe incluir una mayor razón de pasillos y plataformas para el espacio real de almacenamiento.

Acciones y decisiones

Julie y su grupo deben llevar a cabo dos acciones. La primera, dado un pronóstico de tres años como se muestra en la tabla 8-11, es la de trazar un plan de producción agregado. La segunda es elegir alguna de las tres opciones siguientes:

1. Continuar con la estrategia de conservar materiales en un almacén público.
2. Arrendar y dirigir un almacén privado para guardar el inventario fuera de la planta.
3. Utilizar una combinación de almacenamiento público y privado.

En el caso del almacenamiento privado Julie debe decidir con respecto a los pies cuadrados que deben arrendarse. Esta decisión aplicará durante el periodo de 2010 a 2012. Desde luego, esta decisión debe tomarse junto con la preparación de un plan agregado para un periodo de tres años. Idealmente, las dos decisiones deben tomarse en conjunto, ya que una afectará a la otra.

¿Qué factores cree que influyen en las acciones y decisiones? Por ejemplo, ¿considera que el precio de un subcontratista tiene alguna relación con la cantidad del espacio de almacenamiento privado a ser arrendado?

Julie también tiene que decidir cómo manejar cualquier error potencial en el pronóstico de la demanda. ¿Cómo le recomienda que maneje estos errores?

9



Planeación de ventas y operaciones: planeación de la oferta y la demanda en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, será capaz de:

1. Administrar la oferta para mejorar la sincronización en una cadena de suministro ante la variabilidad predecible.
2. Administrar la demanda para mejorar la sincronización en la cadena de suministro ante la variabilidad predecible.
3. Utilizar la planeación de ventas y operaciones para maximizar la rentabilidad cuando se enfrenta la variabilidad predecible en una cadena de suministro.

En el capítulo 8 analizamos cómo administran las compañías la oferta al utilizar la planeación agregada para establecer compensaciones óptimas de modo que maximicen las utilidades. En este capítulo nos basamos en el conocimiento que adquirimos en el anterior y expandimos nuestro alcance más allá de la empresa, hasta la cadena de suministro a la vez que enfrentamos la variabilidad predecible de la demanda. También analizamos cómo puede administrarse la demanda para contrarrestar la variabilidad predecible por el uso de los precios y las promociones. Al administrar la oferta y la demanda a la vez, los gerentes pueden maximizar la rentabilidad total de una cadena de suministro.

9.1 RESPUESTA ANTE LA VARIABILIDAD PREDECIBLE EN LA CADENA DE SUMINISTRO

En el capítulo 8 explicamos cómo utilizan las compañías la planeación agregada para planear la oferta y maximizar las utilidades. La demanda de muchos productos cambia con frecuencia de un periodo a otro, a menudo debido a una influencia predecible. Estas influencias incluyen factores estacionales que afectan a los productos (por ejemplo, las podadoras de pasto y los chalecos de esquiar), así como a otros factores no estacionales (promociones o tasas de adopción del producto) que pueden ocasionar grandes incrementos o reducciones considerables, predecibles en las ventas.

La *variabilidad predecible* es el cambio en la demanda que puede pronosticarse. Los productos que experimentan este tipo de cambio en la demanda ocasionan numerosos problemas en la cadena de suministro, que van desde altos niveles de desabasto durante los periodos de demanda pico hasta altos niveles de inventario excedente durante los periodos de baja demanda. Estos problemas incrementan los costos y disminuyen la capacidad de respuesta de la cadena de suministro. La administración de la oferta y la demanda mediante la planeación de las ventas y operaciones (S&OP) puede mejorar considerablemente el desempeño cuando se aplica a productos predeciblemente variables.

Ante la variabilidad predecible, el objetivo de una compañía es responder de tal manera que balancee la oferta con la demanda para maximizar la rentabilidad. El objetivo de la planeación de las ventas y operaciones es combinar apropiadamente dos opciones generales de manejar la variabilidad predecible:

1. Administrar la oferta utilizando capacidad, inventarios, subcontratación (*outsourcing)* y pendientes (*backlogs*).

2. Administrar la demanda mediante descuentos de precios y promociones en el corto plazo.

El uso de estas herramientas permite a la cadena de suministro incrementar la rentabilidad, ya que la oferta y la demanda se igualan de una manera más coordinada.

Para ilustrar algunos de los temas implicados consideramos al fabricante de equipo de jardinería analizado en el capítulo 8, Red Tomato Tools. La demanda de herramientas de jardinería es estacional, con las ventas concentradas en la primavera. Red Tomato debe planear cómo satisfará la demanda para maximizar las utilidades. Una forma requiere que Red Tomato mantenga una suficiente capacidad de fabricación para satisfacer la demanda con la producción en cualquier periodo. La ventaja de este método es que Red Tomato incurre en bajos costos de inventario porque no mantiene inventario de un periodo a otro. Sin embargo, la desventaja es que mucha de la capacidad costosa no se utiliza durante la mayoría de los meses, cuando la demanda es baja.

Otro método para satisfacer la demanda es acumular inventario durante la temporada baja para mantener la producción estable durante todo el año. La ventaja de este método radica de que Red Tomato puede sobrevivir con una fábrica de menor capacidad y menos costosa. Sin embargo, los altos costos de mantenimiento del inventario encarecen esta alternativa. Un tercer método es que Red Tomato trabaje con sus socios minoristas en la cadena de suministro para ofrecer promociones de precios antes de los meses de primavera, durante periodos de baja demanda. Esta promoción desplaza una parte de la demanda de primavera a un periodo de demanda baja, con lo cual la demanda se reparte más uniformemente a lo largo del año y se reduce el repentino incremento estacional. Tal patrón de la demanda es menos costoso de satisfacer. Red Tomato necesita decidir qué alternativa maximiza su rentabilidad mediante su proceso S&OP.

A menudo las compañías dividen la tarea de administración de la oferta y la demanda en funciones diferentes. En general, el departamento de ventas administra la demanda, mientras que el departamento de operaciones administra la oferta. A un nivel más alto, las cadenas de suministro también sufren por este fenómeno, ya que los minoristas administran la demanda por su cuenta al igual que los fabricantes. La carencia de coordinación perjudica las utilidades de la cadena de suministro cuando se toman por separado las decisiones relacionadas con la administración de la oferta y la demanda. Por consiguiente, los socios de la cadena deben trabajar juntos a través de las empresas para coordinar estas decisiones y maximizar la rentabilidad. El proceso S&OP facilita dicha coordinación. Ilustramos el valor de esta coordinación mediante un análisis más a fondo de Red Tomato.

Lo primero es enfocarnos en las acciones que una cadena de suministro puede emprender para mejorar la rentabilidad con la administración de la oferta.

9.2 ADMINISTRACIÓN DE LA OFERTA

Una compañía puede variar la oferta de un producto controlando una combinación de los siguientes dos factores.

1. Capacidad de producción

2. Inventario

El objetivo es maximizar la utilidad, la cual, para nuestro análisis, es la diferencia entre los ingresos generados por las ventas y el costo total asociado con el material, la capacidad y el inventario. En general, las compañías utilizan una combinación de capacidad e inventario variables para administrar la oferta. En las siguientes secciones listamos algunos métodos específicos para administrar la capacidad y el inventario con el objetivo de maximizar las utilidades.

Administración de la capacidad

Al administrar la capacidad para satisfacer la variabilidad predecible, las compañías utilizan una combinación de los siguientes métodos:

- ***Flexibilidad en los horarios de la fuerza de trabajo.*** En este método una empresa utiliza las horas de trabajo flexibles de la fuerza de trabajo para administrar la capacidad y satisfacer mejor la demanda. En muchos casos, las plantas no operan continuamente sino que permanecen inactivas durante una parte del día o de la semana. Por consiguiente, hay capacidad excedente de la planta en la forma de las horas que la planta no funciona. Por ejemplo, muchas plantas no trabajan los tres turnos, así que la fuerza de trabajo existente podría trabajar tiempo extra durante periodos pico y producir más para satisfacer la demanda. El tiempo extra es variable según la fluctuación de la demanda. Este sistema permite que la producción de la planta se ajuste mejor a la demanda de los clientes. Si la demanda fluctúa por día de la semana o por semana del mes, y la fuerza de trabajo está dispuesta a ser flexible, una compañía puede programar la fuerza de trabajo de modo que la capacidad disponible iguale mejor la demanda. En tales escenarios el uso de una fuerza de trabajo de tiempo parcial puede incrementar aún más la flexibilidad de capacidad al permitir quela empresa ponga más gente a trabajar durante los periodos pico. Los centros de Telemarketing y los bancos utilizan extensamente trabajadores de tiempo parcial para igualar mejor la oferta con la demanda.

- ***Uso de fuerza de trabajo por temporada:*** En este método una empresa utiliza una fuerza de trabajo durante la temporada alta para incrementar la capacidad e igualar la demanda. La industria turística suele utilizar trabajadores por temporada. Hay una base de empleados de tiempo completo y sólo se contratan más durante la temporada alta. Toyota utiliza regularmente una fuerza de trabajo temporal en Japón para igualar la oferta y la demanda. Este método, sin embargo, puede ser difícil de sostener si el mercado de mano de obra es limitado.

- ***Uso de subcontratación (outsourcing):*** En este método una empresa subcontrata la producción pico de modo que la producción interna permanezca nivelada y pueda llevarse a cabo con bajos costos. Con el subcontratista encargado de los picos, la compañía es capaz de construir una instalación relativamente inflexible pero de bajo costo en la cual las tasas de producción se mantienen relativamente constantes (aparte de las variaciones por el uso de tiempo extra). Los picos se subcontratan fuera con instalaciones que son más flexibles. Un factor fundamental en este caso es la disponibilidad de la capacidad relativamente flexible del subcontratista. Éste a menudo puede proporcionar flexibilidad a bajo costo al agrupar las fluctuaciones de la demanda a través de diferentes fabricantes. Por tanto, la capacidad flexible del subcontratista debe tener tanto volumen (demanda fluctuante de un fabricante) como flexibilidad variable (demanda de varios fabricantes) para que sea sustentable. Por ejemplo, gran parte de las compañías de electricidad no cuentan con la capacidad para abastecer a sus clientes con toda la electricidad demandada en días pico. En su lugar confían en ser capaces de comprarla a proveedores y subcontratistas que tienen electricidad excedente. Esto permite a las compañías de electricidad mantener un nivel de oferta y, en consecuencia, un menor costo.

- ***Uso de instalaciones especializadas y flexibles*:** En este método una empresa construye instalaciones especializadas y flexibles. Las primeras generan una producción relativamente estable a lo largo del tiempo de una manera eficiente. Las segundas producen un volumen muy variable de varios productos pero a un costo unitario más alto. Por ejemplo, un fabricante de componentes para PC podría tener instalaciones especializadas para cada tipo de tarjeta de circuitos y una instalación flexible capaz de producir todos los tipos de tarjetas de circuitos. Cada instalación especializada puede fabricar a una tasa relativamente estable, dado que la instalación flexible absorbe las fluctuaciones.

- ***Diseño de la flexibilidad del producto en los procesos de producción:*** En este método una empresa cuenta con líneas de producción flexibles cuya tasa de producción puede ser variada con facilidad. La producción se cambia entonces para igualar la demanda. Hino Trucks en Japón cuenta con varias líneas de producción para diferentes familias de productos. Las líneas de producción están diseñadas de tal modo que al cambiar el número de trabajadores en una línea se puede variar la tasa de producción. A medida que una variación en la demanda a través de las diferentes líneas de productos es complementaria (es decir, cuando una sube, la otra tiende a bajar), la capacidad en cada línea puede variarse cambiando la fuerza de trabajo de una línea a otra. Desde luego, esto requiere que la fuerza de trabajo tenga múltiples habilidades y sea capaz de adaptarse con facilidad al traslado de una línea a otra. La flexibilidad de la producción también se puede lograr si la maquinaria es flexible y se puede cambiar fácilmente de producir un producto a producir otro. Este método es eficaz sólo si la demanda total de todos los productos es relativamente constante. Varias empresas que fabrican productos con demanda estacional tratan de explotar este método al contar con una cartera de productos que tienen temporadas de alta demanda distribuidas a lo largo del año. Un ejemplo clásico es el de un fabricante de podadoras de césped que también fabrica barredoras de nieve para mantener

una demanda constante en su fábrica durante todo el año. En el campo de los servicios está el ejemplo de las compañías de consultoría de estrategias, las cuales ofrecen una cartera de productos balanceada, con énfasis en estrategias de crecimiento cuando los tiempos económicos son buenos, y con énfasis en proyectos de reducción de costos cuando son adversos.

Administración del inventario

Cuando se administra el inventario para satisfacer la variabilidad predecible, las compañías utilizan una combinación de los siguientes métodos:

- ***Uso de componentes comunes en múltiples productos:*** En este método, una empresa diseña componentes comunes para usarlos en múltiples productos. La demanda total de estos componentes es relativamente estable, aun cuando cada producto muestre una variabilidad predecible. El uso de un motor común tanto para las podadoras de césped como para las barredoras de nieve permite que la demanda del motor sea relativamente estable aun cuando la demanda de ambas máquinas fluctúe durante el año. Por consiguiente, la parte de la cadena de suministro que produce componentes puede sincronizar fácilmente la oferta con la demanda, y el inventario de partes acumulado sería relativamente bajo. Asimismo, en una empresa de consultoría muchos de los mismos consultores crean estrategias de crecimiento cuando es lo que está en demanda y de reducción de costos cuando ésta es la demanda.
- ***Acumulación de inventario de productos de alta demanda o de demanda predecible:*** Cuando la mayoría de los productos de una compañía tienen la misma temporada de demanda alta, el método anterior no es factible. En tal ambiente, es mejor que la compañía fabrique productos que tengan una demanda más predecible durante la temporada baja, ya que hay menos que aprender sobre su demanda al esperar. La producción de artículos más inciertos debe tener lugar cerca de la temporada de ventas, cuando la demanda es más predecible. Consideremos un fabricante de chamarras invernales que las fabrica para venta al menudeo y para los departamentos de policía y bomberos de Boston. La demanda de chamarras para policías y bomberos es más predecible, y estas chamarras pueden confeccionarse en la temporada baja y almacenarse hasta el invierno. La demanda de chamarras para venta al menudeo probablemente se conocerá mejor cerca de su temporada de ventas, ya que las tendencias de la moda pueden cambiar con rapidez. Por consiguiente, el fabricante debe producir las chamarras para venta al menudeo cerca de la temporada alta, cuando la demanda es más fácil de predecir. Esta estrategia ayuda a la cadena de suministro a sincronizar mejor la oferta y la demanda.

A continuación consideramos las acciones que una cadena de suministro puede llevar a cabo para mejorar la rentabilidad mediante la administración de la demanda.

9.3 ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA

Las cadenas de suministro pueden influir en la demanda mediante los precios y otras formas de promoción. Los minoristas suelen tomar la decisión de realizar promociones sin considerar el impacto en el resto de la cadena de suministro. En esta sección nuestro objetivo es mostrar cómo pueden colaborar los miembros de la cadena de suministro en las decisiones de fijación de precios y planeación agregada (administración tanto de la demanda como de la oferta) para maximizar la rentabilidad de la cadena de suministro.

Regresemos a Red Tomato Tools, el fabricante de equipo de jardinería. Green Thumb Gardens es una gran cadena de ventas al menudeo que ha firmado un contrato exclusivo para vender todos los productos fabricados por Red Tomato Tools. La demanda de herramientas de jardinería alcanza su punto máximo en los meses de primavera, de marzo y abril, cuando los jardineros se preparan para comenzar a plantar. Al planear, el objetivo de ambas empresas debe ser maximizar las utilidades de la cadena de suministro ya que este resultado les deja más ingresos a compartir. Para que se dé la maximización de las utilidades, Red Tomato y Green Thumb deben idear una forma de colaborar e, igual de importante, determinar una forma de dividir las utilidades de la cadena. Determinar cómo se asignarán estas utilidades a los diferentes miembros de la cadena de suministro es la clave para una colaboración exitosa.

Red Tomato y Green Thumb están explorando cómo afecta la rentabilidad la elección del momento oportuno de las promociones al detalle. ¿Están en una mejor posición si ofrecen la promoción de precios durante el periodo pico de demanda o durante un periodo de baja demanda? El vicepresidente de ventas de Green

Thumb está a favor de una promoción durante el periodo pico ya que esto incrementa en gran medida los ingresos. Por el contrario, la vicepresidenta de producción de Red Tomato está en contra de tal movimiento porque incrementa sus costos, y se inclina por una promoción durante la temporada de demanda baja porque nivela la demanda y reduce los costos de producción. La S&OP permite que los dos colaboren y hagan las compensaciones óptimas.

El caso básico

Comenzamos considerando el caso básico que ya analizamos en el capítulo 8. Cada herramienta tiene un precio de menudeo de $40. Red Tomato envía las herramientas ensambladas a Green Thumb, donde se mantiene todo el inventario. El inventario inicial de Green Thumb en enero es de 1,000 herramientas. Al inicio de este mes la fuerza de trabajo de Red Tomato es de 80 empleados en su planta de producción en México. Hay un total de 20 días hábiles en cada mes, y sus trabajadores ganan el equivalente a $4 por hora. Cada empleado trabaja ocho horas de tiempo normal y el resto de tiempo extra. Debido a que la operación de Red Tomato consiste en su mayor parte en ensamble manual, la capacidad de producción está determinada sobre todo por las horas de mano de obra trabajadas (es decir, no está limitada por capacidad de máquina). Ningún empleado trabaja más de 10 horas de tiempo extra por mes. Los diversos costos se muestran en la tabla 9-1.

No hay límites en la subcontratación, inventarios y desabastos. Todos los desabastos se ponen en la lista de pendientes y se surten con la producción del mes siguiente. Los costos de inventario se incurren por el inventario final en cada mes. El objetivo de las compañías es obtener el plan agregado óptimo que deje al menos 500 unidades de inventario a finales de junio (es decir, sin desabastos a finales de junio y cuando menos 500 unidades en el inventario). El pronóstico de la demanda base se muestra en las celdas J5:J10 de la figura 9-1.

Tabla 9-1 Costos para Red Tomato y Green Thumb

Concepto	Costo
Costo de material	$10/unidad
Costo de mantenimiento de inventario	$2/unidad/mes
Costo marginal de un desabasto	$5/unidad/mes
Costos de contratación y capacitación	$300/trabajador
Costo de despido	$500/trabajador
Horas de mano de obra requeridas	4/unidad
Costo de tiempo regular	$4/hora
Costo de tiempo extra	$6/hora
Costo de subcontratación	$30/unidad

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	*Variables de decisión del plan agregado*										
2		Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt		
3	*Periodo*	*Contratados*	*Despedidos*	*#Trabajadores*	*Tiempo extra*	*Inventario*	*Desabasto*	*Subcontrato*	*Producción*	*Demanda*	*Precio*
4	0	0	0	80	0	1,000	0	0			
5	1	0	16	64	0	1,960	0	0	2,560	1,600	40
6	2	0	0	64	0	1,520	0	0	2,560	3,000	40
7	3	0	0	64	0	880	0	0	2,560	3,200	40
8	4	0	0	64	0	0	220	140	2,560	3,800	40
9	5	0	0	64	0	140	0	0	2,560	2,200	40
10	6	0	0	64	0	500	0	0	2,560	2,200	40
22	*Costo total =*		$422,660								
23						*Precio base*		$ 40			
24	*Ingreso total =*		$640,000	*Promover? (0,1)*	0	*Consumo*		0.10			
25	*Utilidad =*		$217,340	*Mes (1/4)*	1	*Compra adelantada*		0.20			

FIGURA 9-1 Plan agregado para Red Tomato y Green Thumb.

Todas las cifras y análisis en este capítulo provienen de la hoja de cálculo Chapter8,9-examples.xlsm.

Para el caso base establecemos la celda E24 en 0 (ninguna promoción) y utilizamos Solver. El plan agregado del caso base óptimo para Red Tomato y Green Thumb se muestra en la figura 9-1 (es el que se analizó en el capítulo 8 y se muestra en la tabla 8-3).

Para el plan agregado del caso base, la cadena de suministro obtiene los siguientes costos e ingresos:

Costo total durante el horizonte de planeación = \$422, 660
Ingreso durante el horizonte de planeación = \$640,000
Utilidad durante el horizonte de planeación = \$217,340

El inventario estacional durante el horizonte de planeación está dado por

$$\text{Inventario estacional promedio} = \frac{[(I_0 + I_6)/2] + \sum_{t=1}^{5} I_t}{T} = \frac{5{,}250}{6} = 875$$

El tiempo de flujo promedio de este plan agregado durante el horizonte de planeación es

$$\text{Tiempo del flujo promedio} = \frac{\text{inventario promedio}}{\text{ventas promedio}} = \frac{875}{2{,}667} = 0.33 \text{ meses}$$

Factores que influyen en la elección del tiempo oportuno de una promoción

Cuatro factores clave que influyen en la elección del tiempo oportuno de una promoción:

- Impacto de la promoción en la demanda
- Costo de mantenimiento del inventario
- Costo de cambiar el nivel de capacidad
- Márgenes de producto

La administración en ambas compañías desea identificar si cada factor favorece la oferta de una promoción durante los periodos de demanda alta o baja. Comienzan considerando el impacto de la promoción en la demanda. Cuando se ofrece una promoción durante un periodo, la demanda en éste tiende a subir. Este incremento de la demanda resulta de la combinación de los tres siguientes factores:

1. ***Crecimiento del mercado:*** Un incremento en el consumo del producto ocurre por clientes nuevos o existentes. Por ejemplo, cuando Toyota ofrece una promoción de precios en el modelo Camry, puede atraer a compradores que están considerando adquirir un modelo de menor precio. Por tanto, la promoción incrementa el tamaño del mercado de la familia de sedanes y, por consiguiente, también incrementa las ventas de Toyota.
2. ***Apropiación de una parte de mercado:*** Los clientes sustituyen el producto de una empresa con el de un competidor. Cuando Toyota ofrece una promoción del Camry, los compradores que podrían haber adquirido un Honda Accord quizás ahora compren un Camry. Por tanto, la promoción incrementa las ventas de Toyota al mismo tiempo que deja igual el tamaño del mercado de la familia de sedanes.
3. ***Compra adelantada:*** Los clientes hacen las compras futuras en el presente (como se analiza en el capítulo 11). Una promoción puede atraer compradores que habrían adquirido un Camry unos meses después. Las compras adelantadas no incrementan a la larga las ventas de Toyota e inclusive dejan del mismo tamaño el mercado de la familia de los sedanes.

Los dos primeros factores incrementan la demanda total de Toyota, en tanto que las compras adelantadas simplemente desplazan la demanda futura al presente. Es importante entender el impacto relativo de los tres factores a consecuencia de una promoción antes de tomar una decisión con respecto a la elección del momento oportuno óptimo de la promoción. En general, conforme crece la fracción de la demanda incrementada derivada de las compras anticipadas, resulta menos atractivo ofrecer la promoción durante el periodo de demanda alta. Ofrecer una promoción durante un periodo pico en que se hacen compras adelantadas significativas genera una demanda aún más variable que antes de la promoción. El producto que una

vez se demandaba en el periodo lento ahora se demanda en el periodo pico, lo que hace que este patrón de demanda sea más caro de atender.

¿Cuándo promover?: ¿en temporada alta o baja?

Green Thumb estima que descontar una herramienta de Red Tomato de $40 a $39 ($1 de descuento) en cualquier periodo incrementa 10% la demanda en el periodo debido al consumo incrementado o a la sustitución. Además, 20% de la demanda de cada uno de los dos meses siguientes se adelanta. A la gerencia le gustaría determinar si es más efectivo ofrecer el descuento en enero o en abril. Analizamos las dos opciones considerando el impacto de una promoción en la demanda y el plan agregado óptimo resultante.

IMPACTO DE OFRECER UNA PROMOCIÓN EN ENERO El equipo considera primero el impacto de ofrecer el descuento en enero. Para simular esta opción en la celda E24 de la hoja de cálculo Chapter8,9-examples.xlsm, introducimos 1 (esto pone en vigor la promoción) y un 1 en la celda E25 (establece la promoción en el periodo 1, es decir, enero). El nuevo pronóstico toma en cuenta el hecho de que el consumo se incrementará 10% en enero y 20% de la demanda de febrero y marzo se adelanta a enero. Por tanto, con una promoción de enero, el nuevo pronóstico de demanda para enero se obtiene ajustando la demanda del caso base de la figura 9-1, el cual está dado por $1,600 \times 1.1 + 0.2 \times (3,000 + 3,200) = 3,000$. El nuevo pronóstico de la demanda para febrero es $3,000 \times 0.8 = 2,400$, y el nuevo pronóstico de la demanda para marzo es $3,200 \times 0.8 = 2,560$. Para un descuento en enero, el pronóstico de la demanda es como se muestra en las celdas J5:J10 o en la figura 9-2. El plan agregado óptimo se obtiene ejecutando Solver en la hoja de cálculo y se muestra en la figura 9-2. Con un descuento en enero, la cadena de suministro obtiene lo siguiente:

Costo total durante el horizonte de planeación = $422,080
Ingreso durante el horizonte de planeación = $643,400
Utilidad durante el horizonte de planeación = $221,320

En comparación con el caso base, la oferta de un descuento en enero da por resultado un inventario estacional más bajo, un costo total un poco más bajo y una utilidad más alta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	*Variables de decisión del plan agregado*										
2		Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt		
3	*Periodo*	*Contratados*	*Despedidos*	*Trabajadores*	*Tiempo extra*	*Inventario*	*Desabasto*	*Subcontrato*	*Producción*	*Demanda*	*Precio*
4	0	0	0	80	0	1,000	0	0			
5	1	0	15	65	0	600	0	0	2,600	3,000	39
6	2	0	0	65	0	800	0	0	2,600	2,400	40
7	3	0	0	65	0	840	0	0	2,600	2,560	40
8	4	0	0	65	0	0	300	60	2,600	3,800	40
9	5	0	0	65	0	100	0	0	2,600	2,200	40
10	6	0	0	65	0	500	0	0	2,600	2,200	40
22	*Costo total =*		$422,080								
23						*Precio base*		$ 40			
24	*Ingreso total =*		$643,400	*Promover (0,1)*	1	*Consumo*		0.10			
25	*Utilidad =*		$221,320	*Mes (1/4)*	1	*Compra adelantada*		0.20			

FIGURA 9-2 Plan agregado óptimo cuando se descuenta el precio en enero a $39.

IMPACTO DE OFRECER UNA PROMOCIÓN EN ABRIL. Ahora la administración considera el impacto de ofrecer el descuento en abril. Para simular esta opción en la hoja de cálculo Chapter8,9-examples.xlsm, introducimos 1 en la celda E24 (esto pone en vigor la promoción) y 4 en la celda E25 (esto establece la promoción en el periodo 4, es decir, abril). Si Green Thumb ofrece el descuento en abril, el pronóstico de la demanda es como se muestra en las celdas J5:J10 de la figura 9-3. El plan agregado óptimo se obtiene ejecutando Solver y se muestra en la figura 9-3. En comparación con el descuento en enero (figura 9-2), el descuento en abril requiere más capacidad (en términos de fuerza de trabajo) y conduce a una mayor acumulación de inventario estacional y mayores desabastos debido al gran salto de la demanda en abril. Con un descuento en abril tenemos lo siguiente:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	*Variables de decisión del plan agregado*										
2		H_t	L_t	W_t	O_t	I_t	S_t	C_t	P_t		
3	*Periodo*	*Contratados*	*Despedidos*	*Trabajadores*	*Tiempo extra*	*Inventario*	*Desabasto*	*Subcontrato*	*Producción*	*Demanda*	*Precio*
4	0	0	0	80	0	1,000	0	0			
5	1	0	14	66	0	2,040	0	0	2,640	1,600	40
6	2	0	0	66	0	1,680	0	0	2,640	3,000	40
7	3	0	0	66	0	1,120	0	0	2,640	3,200	40
8	4	0	0	66	0	0	1,260	40	2,640	5,060	39
9	5	0	0	66	0	0	380	0	2,640	1,760	40
10	6	0	0	66	0	500	0	0	2,640	1,760	40
22	*Costo total =*		$438,920								
23						*Precio base*		$ 40			
24	*Ingreso total =*		$650,140	*Promover? (0/1)*	1	*Consumo*		0.10			
25	*Utilidad =*		$211,220	*Mes (1/4) 1*	4	*Compra adelantada*		0.20			

FIGURA 9-3 Plan agregado óptimo cuando se descuenta el precio en abril a $39.

Costo total durante el horizonte de planeación = $438,920
Ingreso durante el horizonte de planeación = $650,140
Utilidad durante el horizonte de planeación = $211,220

Observemos que una promoción de precios en enero da como resultado una utilidad más alta de la cadena de suministro, mientras que una promoción en abril da como resultado una utilidad más baja de la cadena de suministro, en comparación con el caso base de no realizar una promoción. A consecuencia del proceso S&O, Red Tomato y Green Thumb deciden ofrecer el descuento durante el periodo bajo del mes de enero. Aun cuando los ingresos son más altos cuando el descuento se ofrece en abril, el incremento de los costos de operación es una opción menos rentable. Una promoción en enero permite a Red Tomato y Green Thumb incrementar la utilidad que pueden compartir.

Observemos que este análisis es posible sólo debido a que el minorista y el fabricante utilizan un proceso S&OP que facilita la colaboración durante la fase de planeación. Esta conclusión apoya nuestro planteamiento previo de que no es apropiado que una cadena de suministro deje las decisiones de fijación de precios únicamente en el dominio de los minoristas y la planeación agregada únicamente en el dominio de los fabricantes, cada uno con sus pronósticos individuales. Es crucial que los pronósticos, la fijación de precios y la planeación agregada se coordinen en una cadena de suministro.

La importancia de un proceso S&OP colaborativo es apoyado aún más por el hecho de que la acción óptima es diferente si la mayor parte del incremento de la demanda proviene del crecimiento del mercado o de la apropiación de una parte del mercado y no de las compras adelantadas. A continuación ilustramos el escenario en el cual un descuento conduce a un gran incremento del consumo.

Cuándo ofrecer una promoción si el descuento conduce a un gran incremento del consumo

Reconsideremos la situación en la cual descontar una unidad de $40 a $39 hace que la demanda en un periodo se incremente 100% (en vez de %10 considerado en el análisis anterior) debido al consumo incrementado o a la sustitución. Además, 20% de la demanda de cada uno de los dos meses siguientes se adelanta. El equipo de la cadena desea determinar si es preferible ofrecer el descuento en enero o en abril bajo estas condiciones. Para simular este escenario, cambiamos la entrada en la celda H24 (incremento del consumo) de la hoja de cálculo Chapter8,9-examples.xlsm de 0.10 (10%) a 1.00 (100%). Ponemos la entrada en la celda E24 en 1 para poner en vigor la promoción. El caso base cuando no se ofrece ninguna promoción no cambia, como se muestra en la figura 9-1. Ahora repetimos el análisis para los casos en que la promoción se ofrece en enero (temporada baja) y en abril (alta).

IMPACTO DE OFRECER UNA PROMOCION EN ENERO Para una promoción en enero ponemos la entrada en la celda E25 en 1(periodo 1, enero). Si el descuento se ofrece en enero, observemos que el pronóstico de la demanda de enero se obtiene como $1{,}600 \times 2 + 0.2 \times (3{,}000 + 3{,}200) = 4{,}440$. Éste es mucho más alto que el mismo pronóstico que aparece en la figura 9-2 porque supusimos que el consumo en el mes de la promoción

se incrementa 100% en vez de 10% supuesto antes. El pronóstico de la demanda con una promoción en enero con un gran incremento en el consumo se muestra en las celdas J5:J10 de la figura 9-4.

El plan agregado se obtiene con Solver y se muestra en la figura 9-4. Con un descuento en enero el equipo obtiene lo siguiente:

Costo total durante el horizonte de planeación = $456,880
Ingreso durante el horizonte de planeación = $699,560
Utilidad durante el horizonte de planeación = $242,680

Observemos que una promoción en enero cuando el incremento del consumo es grande, da como resultado una utilidad más alta que la del caso base (figura 9-1).

IMPACTO DE OFRECER UNA PROMOCIÓN EN ABRIL Para una promoción en abril ponemos la entrada en la celda E25 en 4 (periodo 4, abril). Si el descuento se ofrece en abril, observemos que el pronóstico de la demanda se obtiene como $3{,}800 \times 2 + 0.2 \times (2{,}200 + 2{,}200) = 8{,}840$. Con una promoción en abril y un gran incremento en el consumo, la demanda pico en abril es mucho más alta en la figura 9-5 comparada con la demanda pico en la figura 9-4 (con una promoción en enero). Para una promoción en abril y un gran incremento en el consumo, el pronóstico de la demanda resultante es como se muestra en las celdas J5:J10 de la figura 9-5. El plan agregado óptimo se obtiene usando Solver y se muestra en la figura 9-5.

Con un descuento en abril el equipo obtiene lo siguiente:

Costo total durante el horizonte de planeación = $536,200
Ingreso durante el horizonte de planeación = $783,520
Utilidad durante el horizonte de planeación = $247,320

Al comparar las figuras 9-5 y 9-4 observamos que con una promoción en abril (figura 9-5), no hay despidos y la fuerza de trabajo se mantiene completa. La promoción en abril requiere un nivel mucho más alto de inventario estacional y también utiliza desabastos y subcontratación a un mayor grado que con la promoción en enero. Es evidente que los costos se incrementarán significativamente con una promoción en abril. La observación interesante es que los ingresos se elevan aún más (debido a un mayor incremento en el consumo) lo que hace que con una promoción en abril las utilidades totales se elevan en comparación con una promoción en enero. Por tanto, cuando el incremento en el consumo por el descuento es grande y las compras adelantadas son una pequeña parte del incremento en la demanda debido al descuento, sería mejor que la cadena de suministro ofreciera el descuento en el mes de demanda pico de abril aun cuando esta acción incremente significativamente los costos de la cadena de suministro.

Exactamente igual que como se planteó antes, el plan agregado óptimo y la rentabilidad también pueden determinarse para el caso en que el precio unitario es de $31 (introducimos 31 en la celda H31) y el precio descontado es $30. Los resultados de los diversos casos se resumen en la tabla 9-2.

De los resultados de la tabla 9-2 podemos sacar las siguientes conclusiones con respecto al impacto de las promociones:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	*Variables de decisión del plan agregado*										
2		H_t	L_t	W_t	O_t	I_t	S_t	C_t	P_t		
3	*Periodo*	*Contratados*	*Despedidos*	*Trabajadores*	*Tiempo extra*	*Inventario*	*Desabasto*	*Subcontrato*	*Producción*	*Demanda*	*Precio*
4	0	0	0	80	0	1,000	0	0			
5	1	0	0	80	0	0	140	100	3,200	4,440	39
6	2	0	11	69	0	220	0	0	2,760	2,400	40
7	3	0	0	69	0	420	0	0	2,760	2,560	40
8	4	0	0	69	0	0	620	0	2,760	3,800	40
9	5	0	0	69	0	0	60	0	2,760	2,200	40
10	6	0	0	69	0	500	0	0	2,760	2,200	40
22	*Costo total =*		$456,880								
23						*Precio base*		$ 40			
24	*Ingreso total =*		$699,560	*Promover? (0/1)*	1	*Consumo*		1.00			
25	*Utilidad =*		$242,680	*Mes (1/4)*	1	*Compra adelantada*		0.20			

FIGURA 9-4 Plan agregado óptimo cuando se descuenta el precio en enero a $39 con un gran incremento en la demanda.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	***Variables de decisión del plan agregado***										
2		H_t	L_t	W_t	O_t	I_t	S_t	C_t	P_t		
3	*Periodo*	*Contratados*	*Despedidos*	*Trabajadores*	*Tiempo extra*	*Inventario*	*Desabasto*	*Subcontrato*	*Producción*	*Demanda*	*Precio*
4	0	0	0	80	0	1,000	0	0			
5	1	0	0	80	0	2,600	0	0	3,200	1,600	40
6	2	0	0	80	0	2,800	0	0	3,200	3,000	40
7	3	0	0	80	0	2,800	0	0	3,200	3,200	40
8	4	0	0	80	0	0	2,380	100	3,200	8,480	39
9	5	0	0	80	0	0	940	0	3,200	1,760	40
10	6	0	0	80	0	500	0	0	3,200	1,760	40
22	*Costo total =*		$536,200								
23						*Precio base*		$ 40			
24	*Ingreso total =*		$783,520	*Promover? 1*	1	*Consumo*		1.00			
25	*Utilidad =*		$247,320	*Mes (1/4) 1*	4	*Compra adelantada*		0.20			

FIGURA 9-5 Plan agregado óptimo cuando se descuenta el precio en abril a $39 con un gran incremento de la demanda.

1. Como se ve en la tabla 9-2, el inventario promedio se incrementa si se ofrece una promoción durante el periodo pico y se reduce si la promoción se ofrece durante el periodo bajo.

2. Promover durante un mes de demanda pico puede reducir la rentabilidad total si ocurre un pequeño incremento del consumo y una fracción significativa del incremento de la demanda se debe a las compras adelantadas. En la tabla 9-2 observamos que el ofrecimiento de una promoción en abril reduce la rentabilidad cuando las compras adelantadas constituyen 20% y el incremento de la demanda originado por el consumo incrementado y la sustitución constituyen 10 por ciento.

3. Conforme el consumo se incrementa por el descuento y la compra adelantada llega a ser una pequeña fracción del incremento de la demanda a partir de una promoción, es más rentable promover durante el periodo pico. De acuerdo con la tabla 9-2, para un precio de venta de $40, es óptimo promover en el periodo bajo del mes de enero, cuando la compra adelantada es 20% y el consumo incrementado es 10%. Sin embargo, cuando la compra adelantada es 20% y el consumo incrementado es 100%, es óptimo promover en el periodo pico del mes de abril.

4. Conforme declina el margen del producto, promover durante el periodo de demanda pico se vuelve menos rentable. En la tabla 9-2 observamos que con un precio unitario de $40, es óptimo promover en el periodo pico del mes de abril cuando la compra adelantada es 20% y el consumo incrementado es 100%. En contraste, si el precio unitario es de $31, es óptimo promover en el mes bajo de enero para el mismo nivel de compra adelantada e incremento del consumo.

Tabla 9-2 Desempeño de la cadena de suministro en diferentes escenarios

Precio regular	Precio de promoción	Periodo de promoción	Porcentaje de incremento en la demanda	Porcentaje de las compras adelantadas	Utilidad	Inventario promedio
$40	$40	NA	NA	NA	$217.340	875
$40	$39	Enero	10%	20%	$221.320	515
$40	$39	Abril	10%	20%	$211.220	932
$40	$39	Enero	100%	20%	$242.680	232
$40	$39	Abril	100%	20%	$247.320	1.492
$31	$31	NA	NA	NA	$73.340	875
$31	$30	Enero	20%	20%	$84.280	232
$31	$30	Abril	20%	20%	$69.120	1.492

Tabla 9-3 Resumen del impacto en la elección del momento oportuno de la promoción

Factor	Impacto en la elección del momento oportuno de la promoción/compra adelantada
Altas compras adelantadas	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Alta capacidad de apropiación de una parte del mercado	Favorece la promoción durante periodos de demanda pico
Alta capacidad de incrementar el mercado total	Favorece la promoción durante periodos de demanda pico
Margen alto	Favorece la promoción durante periodos de demanda pico
Margen bajo	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Altos costos de mantenimiento del fabricante	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Altos costos de cambiar la capacidad	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Altos costos de mantenimiento del minorista	Reduce las compras adelantadas por parte del minorista
Alta elasticidad de promoción del consumidor	Reduce las compras adelantadas por parte del minorista

Otros factores, como el costo de retención y el costo de cambiar la capacidad, también afectan la elección del momento oportuno de las promociones. Los diversos factores y sus impactos se resumen en la tabla 9-3.

Un punto clave de los ejemplos de la cadena de suministro de Red Tomato que hemos considerado en este capítulo es que cuando una empresa enfrenta una demanda estacional, debe utilizar una combinación de fijación de precios (para administra la demanda) y de producción e inventario (para administrar la oferta) a fin de mejorar la rentabilidad. El uso preciso de cada palanca varía con la situación. Esto hace que sea crucial que las empresas en una cadena de suministro coordinen los esfuerzos tanto de pronosticación como de planeación mediante un proceso S&OP. Sólo entonces se maximizan las utilidades.

9.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES EN LA PRÁCTICA

1. ***Coordinar la planeación a través de las empresas que forman la cadena de suministro.*** Para que una cadena de suministro administre con éxito la variabilidad predecible, toda la cadena debe trabajar para alcanzar el objetivo de maximizar la rentabilidad. En realidad, sin embargo, es difícil que toda la cadena esté de acuerdo en cómo maximizar la rentabilidad. Las compañías incluso han tenido problemas para lograr que las diferentes funciones dentro de una empresa planeen de manera colaborativa. Los incentivos desempeñan un importante rol en esto. Dentro de una compañía, a veces las ventas ofrecen incentivos con base en el ingreso, mientras que las operaciones hacen lo propio con base en el costo. En una cadena de suministro, las diferentes empresas son juzgadas por su propia rentabilidad, no necesariamente por la rentabilidad de toda la cadena. Por los ejemplos ya considerados, es evidente que sin el objetivo de hacer que las compañías trabajen juntas, una cadena de suministro redituará utilidades por debajo de lo óptimo; la colaboración debe lograrse mediante la formación de equipos conjuntos. Los incentivos de los miembros de una cadena de suministro deben estar alineados. Se requiere un alto nivel de apoyo en una organización ya que esta coordinación a menudo requiere que los grupos actúen en contra de sus procedimientos de operación tradicionales y aunque esta colaboración es difícil, los dividendos son significativos. En el capítulo 10 se analiza más detalle el concepto de pronóstico, planeación y reabastecimiento colaborativos.

2. ***Considerar la variabilidad predecible cuando se tomen decisiones estratégicas.*** La variabilidad predecible tiene un fuerte impacto en las operaciones de una compañía, por lo que ésta debe considerarla al tomar decisiones estratégicas. Sin embargo, no siempre se considera la variabilidad predecible cuando se elaboran planes estratégicos, como qué tipo de productos ofrecer, si construir o no nuevas instalaciones, y qué clase de estructura de precios debe tener una compañía. Como se indica en este capítulo, el nivel de rentabilidad se ve afectado en gran medida por la variabilidad predecible y, por consiguiente, puede también determinar el éxito o fracaso de las decisiones estratégicas.

3. ***Diseñar el S&OP para entender y administrar los impulsores del uso de la demanda.*** El objetivo de S&OP debe ser entender los patrones de uso del consumidor y responder como corresponda e, igualmente, administrar los patrones de uso y oferta en una forma que haga crecer el superávit de la cadena de suministro. Para que un método como éste tenga éxito, el equipo de planeación de ventas y operaciones debe tener una buena visibilidad de la demanda a través de la cadena de suministro.

4. ***Garantizar que el proceso de S&OP modifique los planes conforme la realidad o el pronóstico cambien.*** Es importante que se incorporen alertas tempranas al proceso de S&OP. Un cambio en las circunstancias de la oferta o la demanda puede hacer que la realidad sea diferente del plan. En tal situación, es importante que los planificadores alerten a la cadena de suministro con respecto al plan antiguo y proporcionen uno nuevo que considere estos cambios. Incluso si no existen alertas en el corto plazo, el resultado del proceso de S&OP debe modificarse conforme se ajusten los pronósticos y planes de marketing.

9.5 RESUMEN

1. ***Administrar la oferta para mejorar la sincronización en una cadena de suministro ante la variabilidad predecible.*** Para administrar la oferta con el objetivo de maximizar la utilidad, las compañías deben administrar su capacidad con el uso de flexibilidad de la fuerza de trabajo, subcontratación, instalaciones duales, y flexibilidad del producto. Las compañías también deben administrar la oferta mediante el uso del inventario haciendo énfasis en las partes comunes y acumulando reteniendo productos de demanda predecible con anticipación. Estas metodologías, combinadas con la planeación agregada, permiten que una compañía administre la oferta con eficacia.

2. ***Administrar la demanda para mejorar la sincronización en la cadena de suministro ante la variabilidad predecible.*** Para administrar la demanda con el objetivo de maximizar la utilidad, las compañías deben utilizar decisiones de fijación de precios y promociones a una con la planeación de la oferta. La elección del momento oportuno de las promociones puede tener un fuerte impacto en la demanda. Por consiguiente, utilizar los precios para darle forma a la demanda puede ayudar a sincronizar la cadena de suministro.

3. ***Utilizar la planeación de ventas y operaciones para maximizar la rentabilidad cuando se enfrenta la variabilidad predecible en una cadena de suministro.*** Para manejar la variabilidad predecible de una manera que maximice la utilidad, las cadenas de suministro deben coordinar la administración tanto de la oferta como de la demanda. Esto requiere una planeación coordinada a través de todas las etapas de la cadena de suministro para seleccionar los planes de precios y promociones, así como planes agregados que maximicen la utilidad de la cadena de suministro.

Preguntas para debate

1. ¿Cuáles son algunos obstáculos para crear una fuerza de trabajo flexible? ¿Cuáles son los beneficios?
2. Analice por qué los subcontratistas a menudo pueden ofrecer productos y servicios más baratos a una compañía que si la compañía los hubiera producido.
3. ¿En cuáles industrias podría ver instalaciones duales (algunas enfocadas en sólo un tipo de producto y otras capaces de producir una amplia variedad)? ¿En cuáles esto sería relativamente raro? ¿Por qué?
4. Analice cómo establecería un mecanismo de colaboración para las empresas que forman una cadena de suministro.
5. ¿Cuáles son algunas líneas de productos que utilizan partes comunes a través de muchos productos? ¿Cuáles son las ventajas de hacer esto?

6. Analice cómo puede hacer una compañía que las ventas y operaciones trabajen juntas con el objetivo común de coordinar la oferta y la demanda para maximizar la rentabilidad.
7. ¿Cómo puede usar una empresa los precios para cambiar patrones de demanda?
8. ¿Por qué desearía una empresa ofrecer promociones de precios en sus periodos de demanda alta?
9. ¿Por qué desearía una empresa ofrecer promociones de precios durante sus periodos de demanda baja?

Ejercicios

1. Lavare, ubicada en los suburbios de Chicago, es un importante fabricante de fregaderos de acero inoxidable. Lavare se encuentra a la mitad del ejercicio de planeación de la oferta y la demanda para el próximo año. La demanda mensual anticipada durante los 12 meses se muestra en la tabla 9-4.

Tabla 9-4 Demanda mensual anticipada en Lavare

Mes	Demanda	Mes	Demanda
Enero	10.000	Julio	30.000
Febrero	11.000	Agosto	29.000
Marzo	15.000	Septiembre	21.000
Abril	18.000	Octubre	18.000
Mayo	25.000	Noviembre	14.000
Junio	26.000	Diciembre	11.000

La capacidad en Lavare está regida por el número de operadores de máquina que contrata. La empresa trabaja 20 días al mes con un turno regular de ocho horas por día. Cualquier tiempo más allá de esto se considera tiempo extra. El salario por tiempo regular es de $15 por empleado y el tiempo extra es de $22 por hora, limitado a 20 horas por mes por empleado. La planta cuenta actualmente con 250 empleados. Cada fregadero requiere dos horas de trabajo y tenerlo en el inventario cuesta $3 al mes. El costo de los materiales por fregadero es de $40. Los fregaderos se venden a los distribuidores a un precio de $125 cada uno. Supongamos que no se permiten desabastos y que el inventario inicial a principio de enero es de 5,000 unidades y el inventario final deseado en diciembre también es de 5,000 unidades.

Una investigación de mercado ha indicado que una promoción de reducción de precios de 1% en un mes dado incrementará 20% las ventas en ese mes y adelantará 10% la demanda de cada uno de los dos meses siguiente. Por tanto, una reducción de 1% en el precio en marzo incrementa las ventas en 3,000 (= 0.2 × 15,000) en marzo y desplaza 1,800 (= 0.1 × 18,000) unidades de la demanda de abril y 2,500 (= 0.1 × 25,000) unidades de mayo a marzo.

a. ¿Cuál es el plan de producción óptimo para el año si suponemos que no hay promociones? ¿Cuál es la utilidad anual con este plan? ¿Cuál es el costo de este plan?
b. ¿Es mejor promover en abril o en julio? ¿Qué tanto incremento en la utilidad se puede obtener como resultado?
c. Si los fregaderos se venden a $250 en lugar de a $125, ¿cambia la decisión sobre el momento oportuno de la decisión? ¿Por qué?

2. Considere los datos para Lavare del ejercicio 1. Ahora suponga que Lavare puede cambiar el tamaño de la fuerza de trabajo despidiendo o contratando empleados. Contratar un nuevo empleado implica un costo de $1,000; despedir a un empleado cuesta $2,000.
a. ¿Cuál es el plan de producción óptimo para el año si suponemos que no hay promociones? ¿Cuál es la utilidad anual con este plan? ¿Cuál es el costo de este plan?
b. ¿Es mejor promover en abril o en julio? ¿Qué tanto incremento de la utilidad se puede lograr como resultado?
c. Si el costo de retención de los fregaderos se incrementa de $3 a $5 por mes, ¿cambia la decisión del momento oportuno de la promoción? ¿Por qué?

3. Retome los datos de Lavare del ejercicio 1. Ahora suponga que un tercero ha ofrecido producir fregaderos a $74 por unidad. ¿Cómo afecta este cambio al plan de producción óptimo sin una promoción? ¿Cómo afecta este cambio al momento oportuno óptimo de una promoción? Explique los cambios.

4. Jumbo fabrica bicicletas para todas las edades. El pronóstico de la demanda para el año venidero es como se muestra en la tabla 9-5.

La capacidad de Jumbo está limitada por el número de empleados contratados. Los empleados reciben un salario de $10 por hora de tiempo regular y $15 por hora de tiempo extra. Cada bicicleta requiere dos horas de trabajo de un empleado. La planta trabaja 20 días al mes y ocho horas al día de tiempo regular. El tiempo extra está limitado a un máximo de 20 horas por empleado por mes. Actualmente Jumbo cuenta con 250 empleados y prefiere no cambiar ese número.

Cada bicicleta utiliza $35 de material. Mantener una bicicleta en el inventario de un mes al siguiente cuesta $4. Jumbo inicia con 4,000 bicicletas en inventario y desea terminar el año

Tabla 9-5 Demanda mensual anticipada en Jumbo

Mes	Demanda	Mes	Demanda
Enero	12.000	Julio	24.000
Febrero	11.000	Agosto	20.000
Marzo	14.000	Septiembre	15.000
Abril	20.000	Octubre	10.000
Mayo	25.000	Noviembre	11.000
Junio	27.000	Diciembre	10.000

con la misma cantidad en inventario. Las bicicletas se venden a los minoristas a $80 cada una. Jumbo comparte el mercado con Shrimpy, su competidor.

Jumbo está en el proceso de tomar sus decisiones de planeación de la producción y promociones. Desea considerar sólo planes sin desabastos. Una opción es reducir el precio de venta en $3 (de $80 a $77) durante un mes al año. El resultado de esta acción efectuada por Jumbo se ve afectado por lo que haga Shrimpy. Si ninguna de las compañías promueve, la demanda pronosticada para Jumbo es como se muestra en la tabla 9-5. Si Jumbo promueve en un mes dado pero Shrimpy no, Jumbo ve que el consumo (que no incluye la compra adelantada) se incrementa 40% en ese mes y adelantarse 10% de cada uno de los dos meses siguientes. Si Shimpry promueve en un mes dado pero Jumbo no, Jumbo ve que el consumo cae 40% sin ningún cambio en otros meses. Si ambas promueven en un mes dado, ninguna ve un incremento del consumo pero ambas ven la compra adelantada 15% de cada uno de los dos meses siguientes. El debate en Jumbo es sobre promover y, de hacerlo así, si en abril o junio. Para las siguientes preguntas, suponga que Shrimpy y Jumbo tienen una demanda similar.

a. ¿Cuál es el plan de producción óptimo para Jumbo suponiendo ninguna promoción por parte de Jumbo o Shrimpy? ¿Cuáles son las utilidades anuales para Jumbo?
b. ¿Cuáles son las utilidades para Jumbo si Shrimpy promueve en abril y Jumbo no promueve en todo el año (sigue la política de precios bajos todos los días)? ¿Cuáles son las utilidades para Jumbo si promueve en abril y Shrimpy no promueve en todo el año? Comente sobre el beneficio de promover contra la pérdida de no promover si el competidor lo hace.
c. ¿Cuál es el plan de producción óptimo y utilidades si ambas promueven en abril? ¿Si ambas promueven en junio? ¿Si Jumbo promueve en abril y Shrimpy en junio? ¿Si Jumbo promueve en junio y Shrimpy en abril?
d. ¿Cuál es la mejor decisión para Jumbo si puede coordinar su decisión con Shrimpy?
e. ¿Cuál es la mejor decisión para Jumbo si desea maximizar sus utilidades máximas independientemente de lo que haga Shrimpy?

5. Ahora retomaremos el tema de competidores y promociones en el contexto de un producto de consumo como el detergente, para el cual la demanda es relativamente estable durante el año. Q&H es un importante fabricante de detergente con un pronóstico de la demanda para el año venidero como se muestra en la tabla 9-6 (en toneladas).

La capacidad en Q&H está regida por el número de horas que la línea está en operación. La línea requiere un equipo de 100 empleados, los cuales reciben un salario de $10 por hora de tiempo regular, y $15 por hora de tiempo extra. Cada tonelada de detergente requiere una hora de operación de la línea. La planta trabaja 20 días al mes, dos turnos al día y ocho horas por turno de tiempo regular; el tiempo extra está limitado a un máximo de 20 horas por empleado por mes.

Cada tonelada de detergente utiliza $1,000 de material, y mantener una tonelada de detergente en el inventario de un mes al siguiente cuesta $100. Q&H inicia con 150 toneladas en el inventario y desea terminar el año con el mismo nivel. Durante los meses intermedios, Q&H desea al menos 100 toneladas de inventario. Actualmente el detergente se vende a los minoristas a $2,600 por tonelada. Q&H comparte el mercado con su competidor, Unilock.

Tabla 9-6 Demanda mensual anticipada en Jumbo

Mes	Demanda	Mes	Demanda
Enero	280	Julio	291
Febrero	301	Agosto	277
Marzo	277	Septiembre	304
Abril	302	Octubre	291
Mayo	285	Noviembre	302
Junio	278	Diciembre	297

Q&H se encuentra en el proceso de tomar sus decisiones de planeación de producción y promoción, pero desea considerar sólo planes sin desabastos. Una opción es reducir $260 el precio de venta por tonelada (de $2,600 a $2,340) durante un mes en el año. En el resultado de esta acción de Q&H influye la acción que tome Unilock. Si ninguna de las dos hace promoción, la demanda pronosticada para Q&H se muestra en la tabla 9-6. Si Q&H promueve en un mes dado pero Unilock no, Q&H ve el consumo (que no incluye la compra adelantada) incrementarse 50% en ese mes y la compra adelantada 20% de cada uno de los siguientes dos meses. Si Unilock promueve en un mes dado pero Q&H no lo hace, Q&H ve que el consumo en el mes se reduce 50%. Si ambas promueven en un mes dado, ninguna ve un incremento del consumo pero ambas ven la compra adelantada 25% de cada uno de los dos siguientes meses. El debate en Q&H es si promover y, de hacerlo, si en abril o en junio. Para las siguientes preguntas, suponga que la demanda para Unilock es la misma que para Q&H.

a. ¿Cuál es el plan de producción óptimo para Q&H suponiendo que no habrá promoción por parte de Q&H ni de Unilock? ¿Cuáles son las utilidades anuales para Q&H?
b. ¿Cuáles son las utilidades para Q&H si Unilock promueve en abril y Q&H no promueve en todo el año (sigue la política de precios bajos todos los días)? ¿Cuáles son las utilidades para Q&H si promueve en abril y Unilock no promueve en todo el año? Comente sobre el beneficio de promover, contra la pérdida de no promover si el competidor lo hace.
c. ¿Cuál es el plan de producción óptimo y utilidades si ambas promueven en abril? ¿Si ambas promueven en junio? ¿Si Q&H promueve en abril y Unilock en junio? ¿Si Q&H promueve en junio y Unilock en abril?
d. ¿Cuál es la mejor decisión para Q&H si puede coordinar su decisión con Unilock?
e. ¿Cuál es la mejor decisión para Q&H si desea maximizar sus utilidades mínimas independientemente de lo que haga Unilock?

6. Retome los datos del ejercicio 5. Suponga que Q&H cuenta con un tercero que desea fabricar detergente según se requiera a $2,300 por tonelada. Repita el análisis con todas las preguntas desde a. hasta e.

Bibliografía

Brandel, William. (2007). The Persistent Gap Between Supply and Demand. *CSMP's Supply Chain Quarterly* (Q4), pp. 52-57.

Chen, Clarence, y Nirmal Hasan. (Julio-agosto 2008). How to Succeed with Supply Chain Planning. *Supply Chain Management Review,* pp. 30-36.

Geary, Steve, Paul Childerhouse, y Denis Towill. (Julio-agosto 2002). Uncertainty and the Seamless Supply Chain. *Supply Chain Management Review,* pp. 52-61.

Manen, Edward J. (Octubre 2008). Why Focus on Demand Usage Management? *Supply Chain Management Review,* pp. 42-48.

Martin, André J. (Noviembre-diciembre 2001). Capacity Planning: The Antidote to Supply Chain Constraints. *Supply Chain Management Review,* pp. 62-67.

Sodhi, Mohan. (Invierno de 2000). Getting the Most from Planning Technologies. *Supply Chain Management Review, Special Global Supplement,* pp. 19-23.

Upton, Harold, y Harpal Singh. (Marzo 2007). Balanced S&OP: Sunsweet Growers' Story. Supply *Chain Management Review,* pp. 51-59.

ESTUDIO DE CASO

Mintendo Game Girl

Estamos a fines de junio, y Sandra, jefa de operaciones en Mintendo, y Bill, jefe de ventas de We "R" Toys, están a punto de reunirse para comentar planes de producción y marketing para los próximos seis meses. Mintendo es el fabricante del popular juego de mano electrónico Game Girl que se vende exclusivamente a través de tiendas minoristas de We "R" Toys. La segunda mitad del año es crítica para el éxito de Game Girl, ya que la mayor parte de sus ventas ocurren durante el periodo de compras navideñas.

Sandra está preocupada por el impacto que el incremento repentino de la demanda en la próxima temporada navideña tendrá en su línea de producción. Se espera que los costos de subcontratar el ensamble de los Game Girls se incrementen, y ha estado tratando de mantener bajos los costos dado que su bono de gratificación depende del nivel de los costos de producción.

A Bill le preocupa que las jugueterías competidoras se apropien de una parte del mercado de juegos electrónicos durante la temporada de compras navideñas. Ha visto a muchas compañías perder su parte del mercado por no mantener los precios en línea con el desempeño de sus productos. Le gustaría maximizar el segmento de Game Girl en el mercado de juegos electrónicos.

Tanto el equipo de Sandra como el Bill producen un pronóstico conjunto de la demanda durante los próximos seis meses, como se muestra en la figura 9-7.

We "R" Toys vende Game Girls a $50 la pieza. A fines de junio la compañía tiene un inventario de 50,000 juegos Game Girl. La capacidad de la planta depende únicamente del número de trabajadores que ensamblan los juegos Game Girl. A fines de junio la compañía tiene una fuerza de trabajo de 300 empleados, cada uno de los cuales trabaja ocho horas de tiempo regular a $15 la hora durante 20 días cada mes. El reglamento de trabajo requiere que ningún empleado trabaje más de 40 horas de tiempo extra por mes. Los diversos costos se muestran en la tabla 9-8.

Tabla 9-7 Demanda de juegos Game Girl

Mes	Pronóstico de la demanda
Julio	100.000
Agosto	110.000
Septiembre	130.000
Octubre	180.000
Noviembre	250.000
Diciembre	300.000

Tabla 9-8 Costos para Mintendo/We "R" Toys

Partida	Costo
Costo de material	$12/unidad
Costo de mantenimiento del inventario	$2/unidad/mes
Costo marginal de desabasto	$10/unidad/mes
Costos de contratación y capacitación	$3,000/trabajador
Costo de despido	$5,000/trabajador
Horas de trabajo requeridas	0.25/unidad
Costo de tiempo regular	$15/hora
Costo de tiempo extra	$22.50/hora
Costo de subcontratación	$18/unidad

Sandra, preocupada por controlar los costos durante los periodos de incremento repentino de la demanda durante la temporada navideña, le propone a Bill que el precio se reduzca en $5 para el mes de septiembre. Esto probablemente incrementaría 50% la demanda de septiembre debido a los nuevos clientes atraídos a Game Girl. Además, 30% de cada uno de los siguientes dos meses de la demanda ocurriría en septiembre como compras adelantadas. Cree firmemente que esta nivelación de la demanda ayudará a la compañía.

Bill rebate con la idea de ofrecer la misma promoción en noviembre, durante la parte medular de la temporada de compras. En este caso, la promoción incrementa 50% la demanda de noviembre debido a los nuevos clientes atraídos a Game Girl. Adicionalmente, 30% de la demanda de diciembre ocurriría en noviembre como compras adelantadas. Bill desea incrementar los ingresos y no contempla ninguna otra mejor manera de hacerlo que ofrecer una promoción durante la temporada alta.

Preguntas

1. ¿Cuál opción produce la utilidad máxima para la cadena de suministro: El plan de Sandra, el plan de Bill, o ningun plan de promoción?
4. ¿Cómo cambia la respuesta si debe ofrecerse un descuento de $10 para alcanzar el mismo nivel de impacto que el descuento de $5 recibido?
3. Suponga que los temores de Sandra acerca de incrementar los costos de subcontratación (outsourcing) lleguen a hacerse realidad y el costo se eleve a $22 por unidad para subcontratar. ¿Cambia esto la decisión cuando el descuento es de $5?

10



Coordinación en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, será capaz de:

1. Describir la coordinación en una cadena de suministro y el efecto de látigo, así como su impacto en el desempeño de la cadena de suministro.
2. Identificar los obstáculos para la coordinación en una cadena de suministro.
3. Analizar palancas administrativas que ayudan a lograr la coordinación en una cadena de suministro.
4. Comprender las diferentes formas de planeación, pronosticación y reabastecimientos colaborativos posibles en una cadena de suministro.

En este capítulo ampliamos las ideas del capítulo 9 y nos enfocamos en mejorar la coordinación a través de la cadena de suministro. Analizamos cómo la falta de coordinación conduce a la degradación de la capacidad de respuesta y a un incremento del costo en una cadena de suministro. Describimos varios obstáculos que conducen a esta falta de coordinación y exacerban la variabilidad a través de la cadena de suministro. Luego identificamos palancas administrativas apropiadas que ayudan a superar los obstáculos y a lograr la coordinación. En particular, analizamos cómo la colaboración puede mejorar el desempeño de la cadena de suministro.

10.1 FALTA DE COORDINACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO Y EL EFECTO DE LÁTIGO

La coordinación en una cadena de suministro mejora si todas sus etapas realizan acciones que están alineadas y que incrementan su superávit total. La coordinación en una cadena de suministro requiere que cada etapa comparta información y tome en cuenta el impacto que sus acciones tienen en otras etapas.

Una falta de coordinación ocurre ya sea porque diferentes etapas de la cadena de suministro tienen objetivos que provocan conflictos, o porque la información que circula entre ellas se demora o distorsiona. Las diferentes etapas de una cadena de suministro pueden tener objetivos que provocan conflictos si cada etapa tiene un propietario diferente. En consecuencia, cada etapa trata de maximizar su propias utilidades, lo que da por resultado acciones que a menudo reducen las utilidades totales de la cadena (vea los capítulos 11, 13 y 15). Actualmente las cadenas se componen de etapas con propietarios diferentes; por ejemplo, la Ford Motor Company cuenta con miles de proveedores desde Goodyear hasta Motorola, y cada uno de ellos a su vez cuenta con muchos proveedores. La información se distorsiona conforme se mueve a través de la cadena de suministro porque la información que comparten las etapas está incompleta. Esta distorsión se exagera por el hecho de que las cadenas de suministro de la actualidad producen una gran variedad de productos. Ford produce diferentes modelos con varias opciones para cada uno. La variedad incrementada hace que para Ford sea difícil coordinar el intercambio de información con miles de proveedores y minoristas. El reto fundamental es que las cadenas de suministro logren la coordinación a pesar de los múltiples propietarios y variedad del producto incrementada.

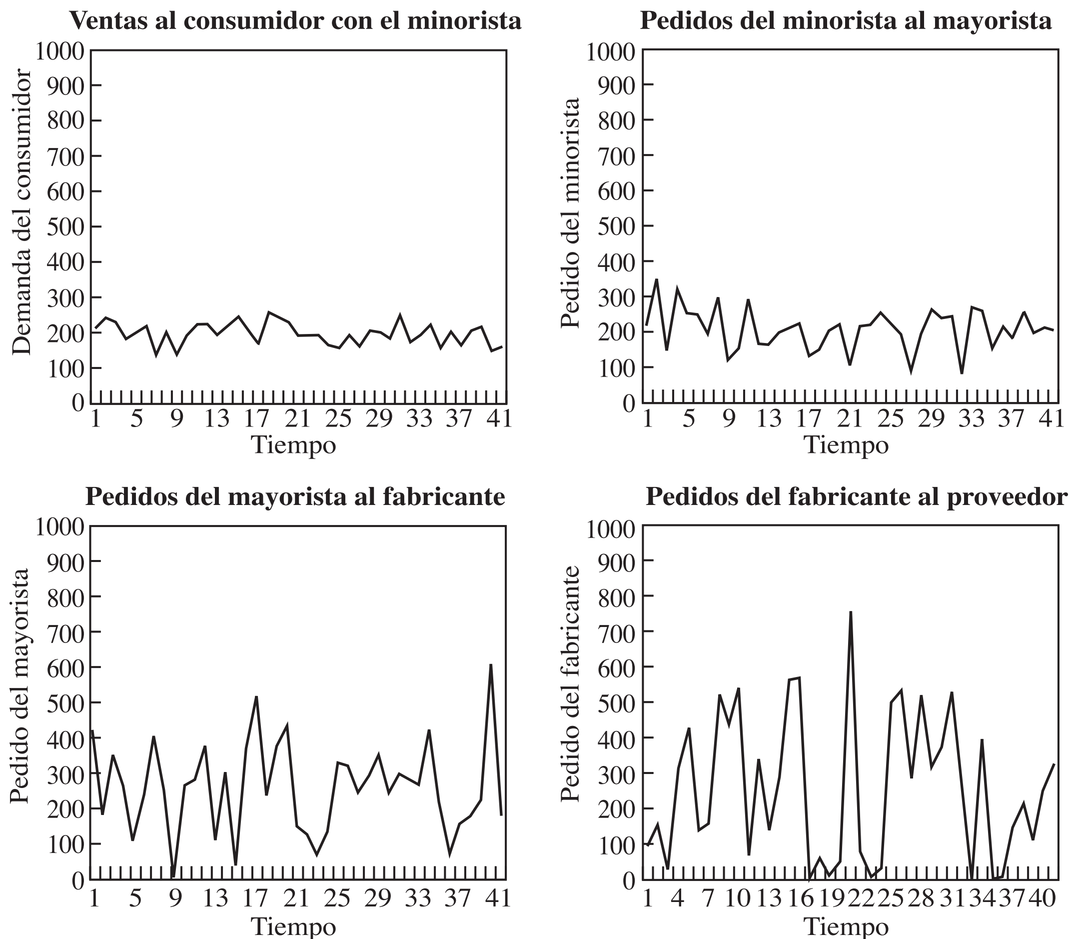


FIGURA 10-1 Fluctuaciones de la demanda en diferentes etapas de una cadena de suministro.

Un resultado de la falta de coordinación es el *efecto de látigo*, en el cual las fluctuaciones en los pedidos se incrementan conforme se desplazan hacia arriba de la cadena de suministro desde los minoristas hasta los mayoristas, a los fabricantes y hasta los proveedores, como se muestra en la figura 10-1. El efecto de látigo distorsiona la información de la demanda dentro de la cadena de suministro, ya que cada etapa tiene una diferente estimación de lo que es la demanda.

Procter & Gamble (P&G) ha observado el efecto de látigo en la cadena de suministro de pañales Pampers.[1] La compañía se dio cuenta que los pedidos de materia prima de P&G a sus proveedores fluctuaban considerablemente con el tiempo. Más abajo en la cadena de suministro, cuando se estudiaron las ventas en tiendas minoristas, las fluctuaciones, si bien las había, eran pequeñas. Es razonable suponer que los consumidores de pañales (bebés) en la última etapa de la cadena de suministro los utilizaban a una tasa constante. Aunque el consumo del producto final era estable, los pedidos de materia prima eran muy variables, lo que incrementaba los costos y hacía difícil igualar la oferta y la demanda.

HP también descubrió que las fluctuaciones en los pedidos se incrementaban significativamente a medida que se movían desde los revendedores hacia arriba de la cadena a la división de impresoras hasta la división de circuitos integrados.[2] Una vez más, mientras la demanda del producto mostraba cierta variabilidad los pedidos colocados con la división de circuitos integrados eran mucho más variables. Esto dificultaba que HP surtiera los pedidos a tiempo y aumentaba los costos de hacerlo.

---

[1] Lee, Padmanabhan, y Whang (1997).
[2] Idem.

Estudios de las industrias del vestido y abarrotera han revelado un fenómeno similar: La fluctuación en los pedidos se incrementa conforme se mueven hacia arriba en la cadena de suministro desde el minorista hasta el fabricante. Barilla, un fabricante italiano de pasta, observó que los pedidos semanales colocados por un centro de distribución local fluctuaban hasta por un factor de 70 en el transcurso del año, mientras que las ventas semanales en el centro de distribución (que representan pedidos colocados por supermercados) fluctuaban por un factor de menos de tres.[3] Por tanto Barrilla enfrentaba una demanda que variaba mucho más que la demanda del cliente. Esto conducía a inventarios aumentados, una deficiente disponibilidad del producto y una caída de las utilidades.

En varias industrias que son bastante propensas a ciclos de "auge y colapso" se ha observado un fenómeno similar a lo largo de un marco de tiempo más largo. Un buen ejemplo es la producción de chips de memoria para computadoras personales. Entre 1985 y 1998 ocurrieron al menos dos ciclos durante los cuales los precios de los chips de memoria fluctuaron por un factor de más de tres. Estas grandes fluctuaciones de los precios se originaron por grandes escaseces o superávits de capacidad. Las escaseces se exacerbaron por compras de pánico y pedidos excesivos seguidos de una repentina caída de la demanda.

En la siguiente sección consideramos cómo la falta de coordinación afecta el desempeño de la cadena de suministro.

10.2 EFECTO DE LA FALTA DE COORDINACIÓN EN EL DESEMPEÑO

Una cadena de suministro carece de coordinación si cada etapa optimiza sólo su objetivo local, sin considerar el efecto sobre la cadena completa. Las utilidades totales de la cadena de suministro son por tanto menos de lo que podrían haber sido mediante la coordinación (vea los capítulos 11 y 13). Cada etapa de la cadena de suministro, al tratar de optimizar su objetivo local, emprende acciones que terminan perjudicando el desempeño de toda la cadena de suministro.

La falta de coordinación también resulta si la distorsión de la información ocurre dentro de la cadena de suministro. Consideremos el efecto de látigo en P&G que se observa en la cadena de suministro de pañales. A consecuencia del efecto de látigo, los pedidos que P&G recibe de sus distribuidores son mucho más variables que la demanda de pañales de los minoristas. Analizamos el impacto de la falta de coordinación en la cadena de suministro sobre varias medidas de desempeño en la cadena de suministro de pañales.

Costo de fabricación

La falta de coordinación incrementa el costo de fabricación en la cadena de suministro. Como un resultado del efecto de látigo, P&G y sus proveedores deben satisfacer una oleada de pedidos que es mucho más variable que la demanda del cliente. P&G puede responder a la variabilidad incrementada construyendo capacidad excedente o manteniendo un inventario excedente (vea el capítulo 12), acciones que incrementan el costo de fabricación por unidad producida.

Costo de inventario

La falta de coordinación incrementa el costo de inventario en la cadena de suministro. Para manejar la variabilidad incrementada en la demanda, P&G tiene que mantener un alto nivel de inventario más alto que el que se requeriría si la cadena de suministro estuviera coordinada. En consecuencia, los costos de inventario en la cadena de suministro se incrementan. Los altos niveles de inventario también incrementan el costo del espacio de almacenamiento requerido y por tanto el costo de almacenamiento en que se incurre.

Tiempo de espera de reabastecimiento

La falta de coordinación incrementa los tiempos de espera de reabastecimiento en la cadena de suministro. La variabilidad aumentada a consecuencia del efecto de látigo hace mucho más difícil la programación en las plantas de P&G y el proveedor que cuando la demanda está nivelada. Hay periodos en los que la capacidad y el inventario disponibles no pueden satisfacer los pedidos entrantes. Esto da por resultado tiempos de espera de reabastecimiento más altos.

---

[3] Hammond (1994).

Costo de transporte

La falta de coordinación incrementa el costo de transporte en la cadena de suministro. Los requerimientos de transporte con el tiempo en P&G y sus proveedores están correlacionados con los pedidos que se han de surtir. Como resultado del efecto de látigo, los requerimientos de transporte fluctúan considerablemente con el tiempo. Esto eleva el costo de transporte debido a que la capacidad de transporte excedente se debe mantener para cubrir los periodos de alta demanda.

Costo de mano de obra de recepción y envío

La falta de coordinación incrementa los costos de mano de obra asociados con el envío y recepción en la cadena de suministro. Los requerimientos de mano de obra para envíos en P&G y sus proveedores fluctúan con los pedidos. Una fluctuación similar ocurre con los requerimientos de mano de obra para recepción con los distribuidores y minoristas. Las diversas etapas tienen la opción de mantener una capacidad de mano de obra excedente o variable en respuesta a la fluctuación de los pedidos. Cualquier opción incrementa el costo total de mano de obra.

Nivel de disponibilidad del producto

La falta de coordinación perjudica el nivel de disponibilidad del producto y da por resultado más desabastos en la cadena de suministro. Las grandes fluctuaciones en los pedidos hace que sea más difícil para P&G surtir todos los pedidos de los distribuidores y minoristas a tiempo. Esto incrementa la probabilidad de que los minoristas se queden sin existencias, lo que da lugar a ventas perdidas para la cadena de suministro.

Relaciones a través de la cadena de suministro

La falta de coordinación tiene un efecto negativo en el desempeño en cada etapa y por tanto daña las relaciones entre las diferentes etapas de la cadena de suministro. Hay una tendencia a culpar a otras etapas de la cadena ya que cada etapa piensa que está haciendo lo mejor que puede. Por tanto la falta de coordinación conduce a una pérdida de confianza entre las diferentes etapas de la cadena y dificulta más cualquier esfuerzo potencial de coordinación.

Del planteamiento anterior se desprende que la falta de coordinación tiene un impacto negativo en el desempeño de la cadena de suministro al incrementar el costo y al reducir la capacidad de respuesta. El impacto de la falta de coordinación en diferentes medidas de desempeño se resume en la tabla 10-1.

En la siguiente sección analizamos varios obstáculos para lograr la coordinación en la cadena de suministro.

Tabla 10-1 Impacto de la falta de coordinación en el desempeño de la cadena de suministro

Medida de desempeño	Impacto de la falta de coordinación
Costo de fabricación	Se incrementa
Costo de inventario	Se incrementa
Tiempo de espera de reabastecimiento	Se incrementa
Costo de transporte	Se incrementa
Costo de envío y recepción	Se incrementa
Nivel de disponibilidad del producto	Se reduce
Rentabilidad	Se reduce

Punto clave

La falta de coordinación perjudica tanto a la capacidad de respuesta como al costo en una cadena de suministro, pues hace más costoso proporcionar un nivel dado de disponibilidad del producto.

10.3 OBSTÁCULOS PARA LA COORDINACIÓN EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Cualquier factor que conduce a la optimización local por parte de diferentes etapas de la cadena de suministro o un incremento del retardo, distorsión y variabilidad de la información dentro de la cadena, es un obstáculo para la coordinación. Si los gerentes en una cadena son capaces de identificar los obstáculos clave, entonces pueden emprender acciones adecuadas que ayuden a lograr la coordinación. Dividimos los obstáculos principales en cinco categorías.

- Obstáculos de incentivos
- Obstáculos de procesamiento de la información
- Obstáculos de operaciones
- Obstáculos de fijación de precios
- Obstáculos de comportamiento

Obstáculos de incentivos

Los obstáculos de incentivos ocurren en situaciones en que los incentivos ofrecidos a diferentes etapas o participantes en una cadena de suministro conducen a acciones que incrementan la variabilidad y reducen sus utilidades totales.

OPTIMIZACIÓN LOCAL DENTRO DE FUNCIONES O ETAPAS DE UNA CADENA DE SUMINISTRO Los incentivos enfocados en sólo el impacto local de una acción dan por resultado decisiones que no maximizan el superávit total de la cadena. Por ejemplo, si la compensación de un gerente de transporte en una compañía está ligada al costo de transporte promedio por unidad, es probable que el gerente lleve a cabo acciones que reduzcan los costos de transporte aun cuando incrementen los costos de inventario o perjudiquen el servicio al cliente. Es natural que cualquier participante en la cadena de suministro realice acciones que optimicen las medidas de desempeño conforme a las cuales se evalúan. Por ejemplo, los gerentes en un minorista como Kmart toman todas sus decisiones de compras e inventario para maximizar las utilidades de Kmart, no las utilidades totales de la cadena de suministro. Las decisiones de compras basadas en la maximización de las utilidades en una sola etapa de la cadena conducen a políticas de colocación de pedidos que no maximizan las utilidades de la cadena (vea los capítulos 11, 13 y 15).

INCENTIVOS DE FUERZA DE VENTAS Las ventas mal estructuradas hacen que los incentivos sean un obstáculo significativo para la coordinación en una cadena de suministro. En muchas empresas los incentivos de fuerza de ventas están basados en la cantidad de fuerza de ventas durante un periodo de evaluación de un mes o trimestre. En general las ventas medidas por un fabricante son la cantidad vendida a distribuidores o minoristas (ventas a través de un canal), no la cantidad vendida a los clientes finales (ventas directas). Medir el desempeño con base en las ventas a través de un canal a menudo se justifica debido a que la fuerza de ventas del fabricante no controla las ventas directas. Por ejemplo, Barilla ofreció incentivos a su fuerza de ventas con base en la cantidad vendida a distribuidores durante un periodo de promoción de seis semanas. Para maximizar sus gratificaciones, la fuerza de ventas de Barrilla urgió a los distribuidores a comprar más pasta hacia finales del periodo de evaluación, aun cuando los distribuidores no estuvieran vendiendo mucho a los minoristas. La fuerza de ventas ofreció descuentos que ellos controlaban para estimular las ventas a finales del periodo. Esto incrementó la variabilidad en el patrón de pedidos, junto con un incremento repentino de los pedidos hacia el fin del periodo de evaluación seguido por algunos pedidos a principios del siguiente periodo de evaluación. Los tamaños de los pedidos de los distribuidores a Barilla fluctuaban por un factor hasta de 70 de una semana a la siguiente. Por tanto, un incentivo de fuerza de ventas basado en las ventas a través de un canal produce, en los pedidos, una variabilidad mayor que la demanda de los clientes porque la fuerza de ventas tiende a impulsar el producto hacia el final del periodo de incentivos.

Obstáculos de procesamiento de la información

Los obstáculos de procesamiento de la información ocurren cuando la información de la demanda se distorsiona conforme se mueve entre las diferentes etapas de la cadena de suministro, lo que conduce a una variabilidad incrementada en los pedidos dentro de la cadena de suministro.

PRONÓSTICOS BASADOS EN PEDIDOS Y NO EN LA DEMANDA DEL CLIENTE Cuando las etapas dentro de una cadena de suministro hacen pronósticos con base en los pedidos que reciben, cualquier variabilidad en la demanda del cliente se magnifica conforme los pedidos se dirigen hacia la parte alta de la cadena de suministro hasta los fabricantes y proveedores. En cadenas de suministro donde los medios básicos de comunicación entre las diferentes etapas son los pedidos que se colocan, la información se distorsiona a medida que se mueve hacia la parte alta en la cadena de suministro (vea Chen, Drezner, Ryan y Simchi-Levi [2000] para un buen análisis cuantitativo). Cada etapa ve su rol primordial dentro de la cadena como uno de surtir los pedidos colocados por su socio situado en la parte baja de la cadena. Por tanto, cada etapa ve su demanda como una oleada de pedidos recibidos y produce un pronóstico basado en esta información.

En tal escenario, un pequeño cambio en la demanda del cliente se magnifica conforme se mueve hacia arriba de la cadena en la forma de pedidos de clientes. Consideremos el impacto de un incremento aleatorio en la demanda del cliente a un minorista. Éste puede interpretar una parte de este incremento aleatorio como una tendencia de crecimiento. Esta interpretación hará que el minorista pida más que el incremento observado en la demanda debido a que espera que el crecimiento continúe en el futuro y por tanto coloca pedidos para cubrir el futuro crecimiento anticipado. El incremento en la colocación de pedidos con el mayorista es por tanto mayor que el incremento en la demanda observado por el minorista. Parte del incremento se realiza en una sola vez. El mayorista, sin embargo, no tiene forma de interpretar el incremento en los pedidos correctamente. El mayorista simplemente observa un salto en el tamaño de los pedidos e infiere una tendencia de crecimiento. La tendencia de crecimiento inferida por el mayorista será más grande que la inferida por el minorista (recordemos que el minorista incrementó el tamaño de los pedidos en previsión del futuro crecimiento). El mayorista, por tanto, colocará un pedido aún más grande con el fabricante. Conforme avanzamos por la cadena de suministro, el tamaño del pedido se magnifica.

Ahora supongamos que a los periodos de incremento aleatorio les siguen periodos de reducción aleatoria en la demanda. Utilizando la misma lógica de pronosticación anterior, el minorista anticipará ahora una tendencia declinante y reducirá el tamaño del pedido. Esta reducción también se amplificará conforme se mueva hacia la parte alta de la cadena de suministro.

FALTA DE COMPARTIMIENTO DE LA INFORMACIÓN El hecho de no compartir la información entre las etapas de la cadena de suministro magnifica la distorsión de la información. Un detallista como Walmart puede incrementar el tamaño de un pedido particular debido a una promoción planeada. Si el fabricante no está enterado de la promoción planeada, puede interpretar el pedido de gran tamaño como un incremento permanente de la demanda y con esta idea colocar pedidos con los proveedores. Entonces, el fabricante y los proveedores se quedan con mucho más inventario justo después de que Walmart termina su promoción. Dado el exceso de inventario, conforme los futuros pedidos de Walmart regresan a la normalidad, los del fabricante serán más pequeños que antes. La falta de compartimiento de la información entre el minorista y el fabricante conduce por tanto a una gran fluctuación en los pedidos del fabricante.

Obstáculos operacionales

Los obstáculos operacionales ocurren cuando las acciones emprendidas en el curso de colocar y surtir pedidos conducen a un incremento de la variabilidad.

COLOCACIÓN DE PEDIDOS EN GRANDES LOTES Cuando una compañía coloca pedidos en tamaños de lotes que son mucho más grandes que aquellos en los que surge la demanda, la variabilidad de los pedidos se magnifica hacia la parte alta de la cadena de suministro. Las empresas pueden pedir en grandes lotes debido a que un costo fijo significativo está asociado con colocar, recibir o transportar un pedido (vea el capítulo 11). También pueden ocurrir grandes lotes si el proveedor ofrece descuentos por cantidad basados en el tamaño del lote (vea el capítulo 11). La figura 10-2 muestra tanto la demanda como la oleada de pedidos a

Punto clave

El hecho de que cada etapa en una cadena de suministro pronostique la demanda con base en la oleada de pedidos recibidos de la etapa corriente abajo magnifica la fluctuación de los pedidos conforme nos desplazamos hacia la parte alta de la cadena de suministro desde el minorista hasta el fabricante.

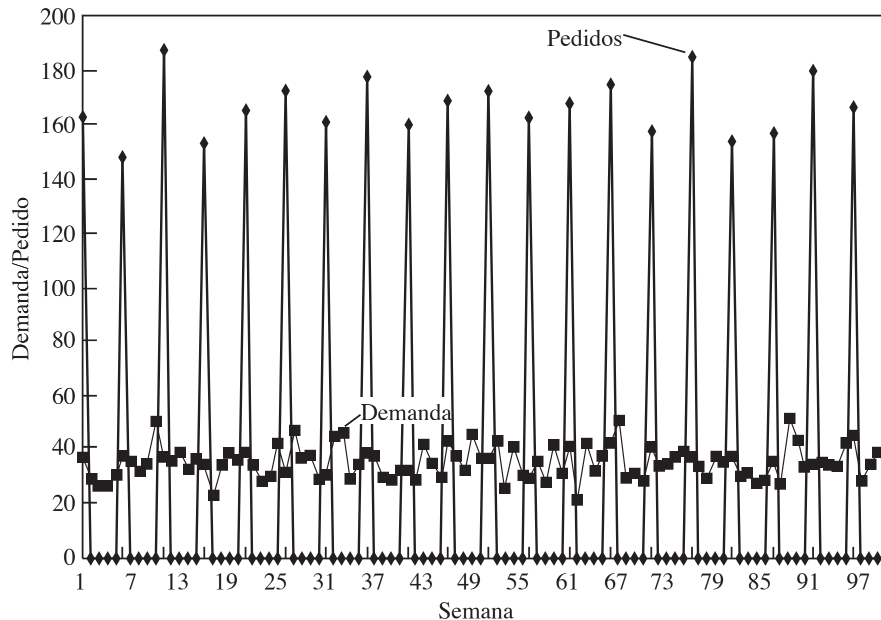


FIGURA 10-2 Oleada de demandas y pedidos con colocación de pedidos cada cinco semanas.

una empresa que coloca un pedido cada cinco semanas. Observamos que la oleada de pedidos es mucho más errática que la oleada de demandas.

Debido a que los pedidos se colocan en lotes cada cinco semanas, la oleada de pedidos muestra cuatro semanas sin pedidos seguidas por un pedido grande que es igual a la demanda de cinco semanas. Un fabricante que abastece a varios proveedores que colocan sus pedidos en lotes enfrenta una oleada de pedidos que es mucho más variable que la demanda experimentada por los minoristas. Si el fabricante envía sus pedidos en lotes a los proveedores, el efecto se magnifica aún más. En muchos casos hay ciertos periodos de punto focal, como la primera o la última semana de un mes, cuando llega la mayoría de los pedidos. Esta concentración de pedidos exacerba aún más el impacto de colocar pedidos en lotes.

LARGOS TIEMPO DE ESPERA DE REABASTECIMIENTO La distorsión de la información se magnifica si los tiempos de espera de reabastecimiento entre etapas son largos. Consideremos una situación en la que un minorista ha malinterpretado un incremento aleatorio de la demanda como una tendencia de crecimiento. Si el minorista enfrenta un tiempo de espera de dos semanas, incorporará el crecimiento anticipado durante dos semanas cuando coloque el pedido. Por el contrario, si el minorista enfrenta un tiempo de espera de dos meses, lo incorporará a su pedido del crecimiento anticipado durante dos meses (el cual será mucho mayor). Lo mismo aplica cuando una reducción aleatoria en la demanda se interpreta como una tendencia declinante.

RACIONAMIENTO Y JUEGO CON LA ESCASEZ Los esquemas de racionamiento que asignan una producción limitada en proporción a los pedidos colocados por minoristas conducen a magnificar la distorsión de la información. Esto puede ocurrir cuando un producto de alta demanda escasea. En tal situación, los fabricantes idean varios mecanismos para racionar la oferta escasa del producto entre varios distribuidores o minoristas. Un esquema de racionamiento comúnmente utilizado es asignar la oferta disponible del producto con base en los pedidos colocados. Conforme a este esquema de racionamiento, si la oferta disponible es 75% de los pedidos totales recibidos, cada minorista recibe 75% de su pedido.

Este esquema de racionamiento da por resultado un juego en el que los minoristas tratan de aumentar el tamaño de sus pedidos para incrementar la cantidad que les surten. Un minorista que requiere 75 unidades pide 100 con la esperanza de obtener 75. El impacto neto de este esquema de racionamiento es inflar artificialmente los pedidos del producto. Además, un minorista que coloca pedidos con base en lo que espera vender obtiene menos y por consiguiente pierde ventas, mientras que un minorista que infla su pedido se ve remunerado.

Si el fabricante está utilizando los pedidos para pronosticar la demanda futura, interpretará el incremento de los pedidos como un incremento de la demanda aun cuando la demanda de los clientes no haya cambiado. El fabricante puede responder acumulando suficiente capacidad para poder surtir todos los pedidos recibidos. Una vez que se dispone de suficiente capacidad, los pedidos regresan a su nivel normal porque fueron inflados en respuesta al esquema de racionamiento. El fabricante ahora se queda con un exceso de producto y capacidad. Estos ciclos de auge y colapso tienden por tanto a alternarse.

Este fenómeno es bastante común en la industria electrónica, en la cual a menudo se observan periodos alternos de escasez de componentes seguidos por un superávit de componentes. En particular, la fabricación de chips de memoria experimentó un par de este tipo de ciclos en la década de 1990.

Obstáculos de fijación de precios

Los obstáculos de la fijación de precios surgen cuando las políticas de fijación de precios de un producto incrementan la variabilidad de los pedidos colocados.

DESCUENTOS POR CANTIDAD BASADOS EN EL TAMAÑO DE LOTE Los descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote incrementan el tamaño de lote de los pedidos colocados dentro de la cadena de suministro (vea el capítulo 11) debido a que se ofrecen precios más bajos para lotes grandes. Como se planteó anteriormente, los grandes lotes resultantes magnifican el efecto de látigo dentro de la cadena de suministro.

FLUCTUACIONES DE PRECIOS Las promociones comerciales y otros descuentos de corto plazo ofrecidos por un fabricante provocan compras adelantadas, mediante las cuales un mayorista o un minorista compran grandes lotes durante el periodo de descuentos para cubrir la demanda durante periodos futuros. Las compras adelantadas producen grandes pedidos durante el periodo de promoción seguidos de pedidos muy pequeños después de eso (vea el capítulo 11), como se muestra en la figura 10-3 para la sopa de tallarines con pollo.

Observemos que los envíos durante el periodo pico son más grandes que las ventas durante el periodo pico debido a la promoción ofrecida. Después del periodo de envíos pico sigue un periodo de pocos envíos del fabricante, lo que indica que los distribuidores hicieron compras adelantadas significativas. La promoción

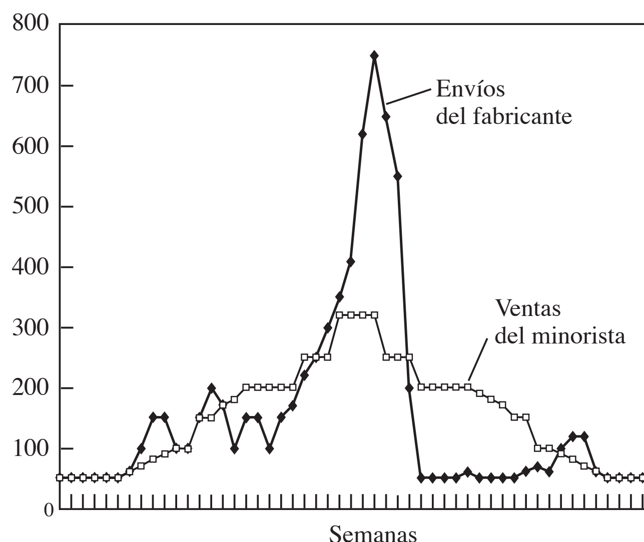


FIGURA 10-3 Ventas del minorista y envíos del fabricante de sopa de tallarines.
Fuente: Adaptado de Marshall L. Fisher. (Marzo-abril 1997). What is the Right Supply Chain for Your Product? *Harvard Business Review*, pp. 83-93. Harvard Business School *Publishing Corporation. Reimpreso con permiso de Harvard Business Review*. Todos los derechos reservados.

produce, por tanto, variabilidad en los envíos del fabricante que es considerablemente más alta que la variabilidad en las ventas del minorista.

Obstáculos de comportamiento

Los obstáculos de comportamiento son problemas de aprendizaje dentro de una organización que contribuyen a la distorsión de la información. Estos problemas suelen estar relacionados con la forma en que la cadena de suministro está estructurada y las comunicaciones entre diferentes etapas. Algunos de estos obstáculos son los siguientes:

1. Cada etapa de la cadena de suministro visualiza sus acciones localmente y es incapaz de considerar el efecto de sus acciones sobre otras etapas.
2. Diferentes etapas de la cadena de suministro reaccionan ante la situación local actual en vez de tratar de identificar las causas que la originan.
3. Basadas en un análisis local, las diferentes etapas de la cadena de suministro se culpan unas a otras por las fluctuaciones, y etapas sucesivas en la cadena se vuelven enemigas en vez de socias.
4. Ninguna etapa de la cadena de suministro aprende de sus acciones al paso del tiempo debido a que las consecuencias más significativas que cualquier etapa emprende ocurren en otra parte. El resultado es un ciclo vicioso en el cual las acciones emprendidas por una etapa crean los mismos problemas de los que la etapa culpa a otras.
5. Una falta de confianza entre varios socios de la cadena de suministro hace que sean oportunistas a expensas del desempeño global de la cadena de suministro. La falta de confianza también resulta en una duplicación significativa del esfuerzo. Y más importante aún, la información disponible en diferentes etapas no se comparte o es ignorada ya que no se confía en ella.

10.4 PALANCAS ADMINISTRATIVAS PARA LOGRAR LA COORDINACIÓN

Una vez identificados los obstáculos que perjudican la coordinación, ahora nos enfocamos en las acciones que un gerente puede llevar a cabo para ayudar a superarlos y lograr la coordinación en la cadena de suministro. Las siguientes acciones administrativas incrementan las utilidades totales de la cadena y moderan la distorsión de la información:

- Alineación de objetivos e incentivos
- Mejora de la visibilidad y precisión de la información
- Mejora del desempeño operativo
- Diseño de estrategias de fijación de precios para estabilizar los pedidos
- Construcción de sociedades estratégicas y de confianza

Alineación de objetivos e incentivos

Los gerentes pueden mejorar la coordinación dentro de la cadena de suministro alineando los objetivos y los incentivos para que cada participante en las actividades de la cadena trabaje para maximizar las utilidades totales de la cadena.

ALINEACIÓN DE OBJETIVOS A TRAVÉS DE LA CADENA DE SUMINISTRO La coordinación requiere que cada etapa de la cadena de suministro se enfoque en el superávit de la cadena o en el tamaño total del pastel en lugar de sólo en su parte individual. Sin un método como éste cada cadena de suministro deja dinero en la mesa. Ejemplos analizados en los capítulos 11 y 15 señalan cómo el superávit total de una cadena de suministro se reduce cuando cada etapa se enfoca simplemente en maximizar sus propias utilidades. Es improbable que surja un enfoque en la cadena de suministro hasta que las acciones e incentivos a través de la cadena de suministro se alineen con este objetivo. Por ejemplo, como se analiza en el capítulo 15, es importante que las etapas poderosas dentro de la cadena se den cuenta que empujar todo el riesgo contra la etapa más débil finalmente daña sus propias utilidades. Una clave para la coordinación surge con mecanismos que permiten un escenario de ganar-ganar en el cual el superávit de la cadena de suministro crece a la par de las utilidades de todas sus etapas. Algunos de estos mecanismos se analizan con más detalle en el capítulo 15.

ALINEACIÓN DE LOS INCENTIVOS A TRAVÉS DE LAS FUNCIONES Una clave para las decisiones coordinadas dentro de una compañía es asegurarse que el objetivo que cualquier función utiliza para evaluar una decisión esté alineado con el objetivo global de la compañía. Todas las decisiones relacionadas con la instalación, transporte e inventario deben evaluarse con respecto a su efecto en la rentabilidad, no en los costos totales o, peor aún, solamente en los costos totales. Esto ayuda a evitar situaciones como en la que un gerente de transporte tome decisiones que reduzcan el costo de transporte pero que incrementen los costos totales de la cadena de suministro (vea el capítulo 14).

FIJACIÓN DE PRECIOS PARA LA COORDINACIÓN Un fabricante puede usar descuentos por cantidad basados en el tamaño del lote para lograr la coordinación para productos de consumo si sus costos fijos asociados con cada lote son altos (vea el capítulo 11 para un análisis detallado). En productos para los cuales una empresa tiene fuerza en el mercado, un gerente puede utilizar tarifas de dos partes y descuentos por volumen para ayudar a lograr la coordinación (vea el capítulo 11 para un análisis detallado). Dada la incertidumbre en la demanda, los fabricantes pueden usar contratos de recompra, de compartimiento de ingresos y de flexibilidad de la cantidad para estimular a los minoristas a que proporcionen niveles de disponibilidad del producto que maximicen las utilidades totales de la cadena (vea el capítulo 15 para un análisis detallado). Los contratos de recompra se han utilizado en la industria editorial para incrementar las utilidades totales de la cadena. Los contratos de flexibilidad de la cantidad han ayudado a Benetton a incrementar las utilidades de su cadena de suministro.

MODIFICACIÓN DE LOS INCENTIVOS DE LA FUERZA DE VENTAS, DESDE LAS VENTAS A TRAVÉS DE UN CANAL HASTA LAS VENTAS DIRECTAS Cualquier cambio que reduzca el incentivo de un vendedor para que haga que el minorista compre producto, reduce el efecto de látigo. Los gerentes deben vincular los incentivos para el personal de ventas con las ventas directas realizadas por un minorista en lugar de con las ventas a través de un solo canal al minorista. Esta acción elimina cualquier motivación que el personal de ventas pudiera tener para promover las ventas adelantadas. La eliminación de éstas ayuda a reducir las fluctuaciones en la oleada de pedidos. Si los incentivos para la fuerza de ventas se basan en ventas a lo largo de un horizonte rodante, el incentivo para impulsar el producto se reduce aún más, lo cual ayuda a reducir las compras adelantadas y las fluctuaciones resultantes en los pedidos.

Mejora de la visibilidad y precisión de la información

Los gerentes pueden lograr la coordinación si mejoran la visibilidad y la precisión de la información disponible para diferentes etapas en la cadena de suministro.

COMPARTIMIENTO DE DATOS DE PUNTO DE VENTA El compartir datos del punto de venta (POS, *Point-Of-Sale*) a través de la cadena de suministro puede ayudar a reducir el efecto de látigo. Una causa primordial de la distorsión de la información es el hecho de que cada etapa de la cadena de suministro utiliza los pedidos para pronosticar la demanda futura. Dado que los pedidos recibidos por diferentes etapas varían, los pronósticos en ellas también varían. En realidad, la única demanda que la cadena de abastecimiento necesita satisfacer es la del cliente final. Si los minoristas comparten los POS con otras etapas de la cadena, todas las etapas pueden pronosticar la demanda futura basadas en la demanda del cliente. Compartir los datos del POS ayuda a reducir la distorsión de la información porque ahora todas las etapas responden al mismo cambio en la demanda del cliente. Observemos que compartir los datos agregados del POS es suficiente para amortiguar la distorsión de la información. No es necesario compartir los datos detallados del POS. El uso de sistemas de información apropiados facilita el compartimiento de tales datos (vea el capítulo 17).

Por rutina, Walmart ha compartido sus datos de POS con sus proveedores. Dell comparte datos de demanda así como las posiciones de componentes en el inventario actual con muchos de sus proveedores vía la Internet, lo cual ayuda a evitar fluctuaciones innecesarias en la oferta y los pedidos colocados. P&G ha convencido a muchos minoristas a compartir datos de la demanda, y a su vez comparte los datos con sus proveedores, lo que mejora la coordinación en la cadena de suministro.

IMPLEMENTACIÓN DE PRONOSTICACIÓN Y PLANEACIÓN COLABORATIVAS Una vez que se comparten los datos del punto de venta, las diferentes etapas de la cadena de suministro deben pronosticar y planear conjuntamente si se desea lograr la coordinación completa. Sin planeación colaborativa, el compartimiento

de datos de POS no garantiza la coordinación. Un minorista puede haber observado una gran demanda en el mes de enero porque ofreció una promoción. Si no se planea ninguna promoción para el próximo mes de enero, el pronóstico del minorista será diferente al del fabricante incluso si ambos cuentan con los mismos datos de POS pasados. El fabricante debe estar enterado de los planes de promoción del minorista para lograr la coordinación. La clave es asegurarse de que toda la cadena esté operando con un pronóstico común. Para facilitar este tipo de coordinación en el ámbito de la cadena de suministro, la asociación Voluntary Interindustry Commerce Standards Association (VICS) ha establecido un Comité de Planeación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativos (CPFR) para identificar las mejores prácticas y diseñar guías de planeación y pronosticación colaborativas. Estas prácticas se detallan más adelante en el capítulo.

DISEÑO DE UNA SOLA ETAPA DE CONTROL DE REABASTECIMIENTO El diseño de una cadena de suministro en el que una sola etapa controla las decisiones de reabastecimiento para toda la cadena de suministro puede ayudar a reducir la distorsión de la información. Como ya lo mencionamos antes, una causa clave de la distorsión de la información es que cada etapa de la cadena utilice los pedidos de la etapa anterior como su demanda histórica. Como resultado, cada etapa considera su rol como uno de reabastecer pedidos colocados por la siguiente etapa. En realidad, el reabastecimiento clave ocurre con el minorista, debido a que es allí donde compra el cliente final. Cuando una sola etapa controla las decisiones de reabastecimiento para toda la cadena, se elimina el problema de múltiples pronósticos y la coordinación dentro de la cadena continúa.

Varias prácticas de la industria, tales como programas de reabastecimiento continuo (CRP, *Continuous Replenishment Program*) y de inventarios manejados por el vendedor (VMI, Vendor Managed Inventories) detallados más adelante en el capítulo, proporcionan control de un solo punto sobre el reabastecimiento. Walmart suele designar a uno de sus proveedores como líder de cada categoría principal de producto para que administre el reabastecimiento a nivel de tienda. Esto permite a los proveedores tener visibilidad de las ventas y tomar decisiones de reabastecimiento.

Mejora del desempeño operacional

Los gerentes pueden ayudar a amortiguar la distorsión de la información con la mejora del desempeño operacional y el diseño de esquemas de racionamiento de productos apropiados en caso de escasez.

REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE ESPERA DE REABASTECIMIENTO Al reducir los tiempos de espera de reabastecimiento, los gerentes pueden disminuir la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de espera (vea el capítulo 12). Una reducción del tiempo de espera es especialmente beneficiosa para artículos estacionales porque permite que se coloquen múltiples pedidos con un incremento significativo en la precisión del pronóstico (vea el capítulo 13). Por tanto, la reducción del tiempo de espera de reabastecimiento ayuda a amortiguar la distorsión de la información al reducir la incertidumbre subyacente de la demanda.

Los gerentes pueden emprender varias acciones en diferentes etapas de la cadena de suministro para ayudar a reducir los tiempos de espera de reabastecimiento. La colocación electrónica de pedidos, ya sea en línea o a través del intercambio de datos electrónico (EDI) puede acortar significativamente el tiempo de espera asociado con la colocación de pedidos y transferencia de información. En las fábricas se pueden utilizar la flexibilidad incrementada y la fabricación celular para lograr una reducción significativa de los tiempos de espera. Una amortiguación de la distorsión de la información reduce aún más los tiempos de espera debido a la demanda estabilizada y, en consecuencia, la programación mejorada. Esto es particularmente cierto cuando se produce una gran variedad de productos. Se pueden utilizar los avisos anticipados de envíos (ASN) para reducir el tiempo de espera así como los esfuerzos asociados con la recepción. Se puede utilizar el reparto directo *(cross-docking)* para reducir el tiempo de espera asociado con el movimiento del producto entre etapas en la cadena de suministro. Walmart ha utilizado muchos de estos métodos para reducir significativamente el tiempo de espera en su cadena de suministro.

REDUCCIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LOTE Los gerentes pueden reducir la distorsión de la información implementando mejoras que reducen los tamaños de lote. Una reducción de los tamaños de lote reduce la fluctuación que se puede acumular entre cualquier par de etapas de una cadena de abastecimiento, y por tanto se reduce la distorsión. Para reducir los tamaños de lote, los gerentes deben realizar acciones que ayuden a reducir los costos fijos asociados con la colocación de pedidos, el transporte y la recepción de cada lote (vea el capítulo 11). Walmart y Seven-Eleven Japan han tenido mucho éxito en la reducción de los tamaños de lote de reabastecimiento agregando las entregas a través de muchos productos y proveedores.

La colocación de pedidos asistida por computadora (CAO) se refiere a la sustitución mediante tecnología de las funciones de un empleado encargado de colocar pedidos minoristas con el uso de computadoras que integran información sobre ventas de productos, factores de mercado que afectan la demanda, niveles de inventario, recepciones de producto y niveles de servicios deseados. CAO y EDI ayudan a reducir los costos fijos asociados con la colocación de cada pedido. Actualmente el uso creciente de colocación de pedidos vía la Web por parte de compañías como W. W. Grainger y McMaster-Carr ha facilitado la colocación de pedidos en lotes pequeños debido a los costos de colocación de pedidos reducidos para los clientes y los costos de surtimiento de pedidos reducidos para las compañías en sí.

En algunos casos los gerentes pueden simplificar la colocación de pedidos eliminando el uso de pedidos de compra. En la industria automotriz a algunos proveedores se les paga con base en el número de automóviles producidos, lo que elimina la necesidad de pedidos de compra individuales. Esto elimina el costo de procesamiento de pedidos asociado con cada pedido de reabastecimiento. Los sistemas de información también facilitan la liquidación de transacciones financieras, lo que elimina el costo asociado con pedidos de compra individuales.

La enorme brecha en los precios de envíos con camión lleno (TL, *Truckload*) y con camión menos que lleno (LTT, *Less Than Truckload*) motiva el envío de cantidades con camiones llenos. De hecho, con los esfuerzos por reducir los costos de procesamiento de pedidos, ahora los costos de transporte son el principal obstáculo para el envío de lotes pequeños en la mayoría de las cadenas de suministro. Los gerentes pueden reducir los tamaños de lotes sin incrementar los costos de transporte cargando un camión con lotes pequeños de una variedad de productos (vea el capítulo 11). Por ejemplo, P&G requiere que todos los pedidos de los minoristas se hagan en camiones llenos; sin embargo, el camión puede llenarse con cualquier combinación de productos. Por tanto, un minorista puede pedir lotes pequeños de cada producto en tanto se incluya una variedad bastante grande de productos en cada camión. Seven-Eleven Japan ha aplicado esta estrategia con camiones combinados, en los cuales la separación es por la temperatura a que se mantiene el camión. Todos los productos que deben enviarse a una temperatura particular se cargan en el mismo camión. Esto ha permitido a Seven-Eleven Japan reducir el número de camiones enviados a las tiendas minoristas y conservar alta la variedad del producto. Algunas empresas en la industria abarrotera utilizan camiones con diferentes compartimientos, cada uno a diferente temperatura para transportar una gran variedad de productos, y así ayudan a reducir los tamaños de lote.

Los gerentes también pueden reducir los tamaños de lotes utilizando *milk runs* (viajes de lechero) que combinen envíos para varios minoristas en un solo camión, como se analiza en el capítulo 14. En muchos casos, transportistas externos combinan envíos para tiendas minoristas competidoras en un solo camión. Esto reduce el costo de transporte fijo por minorista y permite que cada minorista ordene en lotes pequeños. En Japón, Toyota utiliza un solo camión de un proveedor para abastecer a múltiples plantas de ensamble, lo que permite a los gerentes reducir el tamaño del lote recibido por cualquier planta. Los gerentes también pueden reducir los tamaños de lote combinando envíos de múltiples proveedores en un solo camión. En Estados Unidos, Toyota utiliza este método para reducir el tamaño del lote que recibe de cualquier proveedor.

Conforme se piden y entregan lotes más pequeños, tanto la presión como el costo de recibir pueden incrementarse de manera significativa. Por tanto, los gerentes deben implementar tecnologías que simplifiquen el proceso de recepción y reduzcan su costo asociado. Por ejemplo, los ASN identifican electrónicamente el contenido del envío, la cantidad y el tiempo de entrega y ayudan a reducir el tiempo de descarga e incrementan la eficiencia de entrega directa. Los ASN se pueden usar para actualizar electrónicamente los registros de inventario, lo cual reduce el costo de recepción. El código de barras de las tarimas también facilita la recepción y el envío. El uso de identificación por radiofrecuencia (RFID, *Radio-Frequency IDentification*) puede simplificar aún más la recepción.

Cada una de estas tecnologías trabaja para simplificar la tarea de enviar, transportar y recibir pedidos complejos con lotes pequeños de muchos productos. Esto facilita la reducción del tamaño de lote.

Otra manera sencilla de minimizar el impacto del envío en lotes es alentar a los diversos clientes a colocar pedidos de una manera tal que la demanda se distribuya de manera uniforme a lo largo del tiempo. Con frecuencia, los clientes que colocan un pedido una vez a la semana tienden a hacerlo en lunes o viernes. Los clientes que colocan un pedido una vez al mes tienden a hacerlo a principios o a finales del mes. En esos casos es mejor distribuir uniformemente a los clientes que piden una vez por semana a través de los días de la semana y a los clientes que piden una vez por mes a través de todos los días del mes. De hecho, los días regulares de colocación de pedidos pueden programarse con anticipación para cada cliente. En general esto

no afecta a los minoristas, y nivela la oleada de pedidos que recibe el fabricante, por tanto la distorsión de la información se reduce.

RACIONAMIENTO BASADO EN LAS VENTAS PASADAS Y COMPARTIMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA LIMITAR EL JUEGO Para disminuir la distorsión de la información, los gerentes pueden diseñar esquema de racionamiento que desalienten a minoristas a inflar artificialmente sus pedidos en el caso de una escasez. Un método, conocido como *rotar y ganar*, es asignar la oferta disponible con base en las ventas pasadas del minorista en lugar de en sus pedidos actuales. Ligando la asignación a las ventas pasadas se elimina cualquier incentivo que un minorista pudiera tener para inflar los pedidos. De hecho, durante periodos de baja demanda el método de rotar y ganar alienta a los minoristas a tratar de vender más para incrementar la asignación que reciben durante periodos de escasez. Varias empresas, entre ellas General Motors, han utilizado históricamente el mecanismo de rotar y ganar para racionar el producto disponible en caso de escasez. Otras, como HP, lo han asignado con base en los pedidos de los minoristas pero ahora están utilizando las ventas pasadas.

Otras compañías han tratado de compartir información a través de la cadena de suministro para minimizar las situaciones de escasez. Empresas como Sport Obermeyer ofrecen incentivos a sus clientes grandes para que pidan con anticipación al menos una parte de su pedido anual. Esta información le permite mejorar la precisión de su propio pronóstico y asignar capacidad de producción como corresponda. Una vez asignada adecuadamente la capacidad a través de diferentes productos, es menos probable que surjan situaciones de escasez, lo que amortigua la inflación de pedidos. La disponibilidad de capacidad flexible también puede ayudar a este respecto, ya que ésta se puede cambiar fácilmente de un producto cuya demanda es más baja que la esperada a uno cuya demanda es más alta que la esperada.

Diseño de estrategias de fijación de precios para estabilizar los pedidos

Los gerentes pueden reducir la distorsión de la información ideando estrategias de fijación de precios que alienten a los minoristas a colocar pedidos en lotes pequeños y a reducir las compras adelantadas.

MOVIMIENTO DE LOS DESCUENTOS POR CANTIDAD BASADOS EN EL TAMAÑO DEL LOTE A BASADOS EN EL VOLUMEN Como resultado de los descuentos por cantidad basados en el tamaño del lote, los minoristas incrementan sus tamaño de lote para aprovechar al máximo el descuento. La oferta de descuentos por cantidad basados en el volumen elimina el incentivo de incrementar el tamaño de un solo lote ya que los descuentos basados en el volumen consideran las compras totales durante un periodo especificado (digamos, un año) en lugar de las compras en un solo lote (vea el capítulo 11). Los descuentos por cantidad basados en el volumen dan por resultado lotes más pequeños, lo que reduce la variabilidad de los pedidos en la cadena de suministro. Los descuentos basados en el volumen con fecha de terminación fija en la cual se evaluarán los descuentos conducen a grandes lotes cerca de la fecha de terminación. La oferta de descuentos durante un horizonte de tiempo rodante ayuda a amortiguar este efecto. HP está experimentando con cambiar de descuentos basados en el tamaño de lote a descuentos basados en el volumen.

ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS Los gerentes pueden amortiguar el efecto de látigo eliminado las promociones y cobrando precios bajos todos los días (EDLP, *Everyday Low Price*). La eliminación de promociones elimina las compras adelantadas por parte de los minoristas y da por resultado pedidos que igualan la demanda del cliente. P&G, Campbell Soup, y otros fabricantes han implementado la práctica de precios bajos todos los días para amortiguar el efecto de látigo.

Los gerentes pueden establecer límites en la cantidad que pueden comprar durante una promoción para reducir las compras adelantadas. Este límite debe ser específico del minorista y vincularse a las ventas históricas por el minorista. Otro método es vincular los dólares derivados de la promoción pagados al minorista con la cantidad de ventas directas en vez de con la cantidad comprada por el minorista. Por consiguiente, los minoristas no obtienen beneficios con las compras adelantadas y compran más sólo si pueden vender más. Las promociones basadas en las ventas directas reducen de manera significativa la distorsión de la información. Contar con sistemas de información específica facilita la vinculación de las promociones directamente con ventas al cliente.

Construcción de sociedades estratégicas y de confianza

Los gerentes encuentran que es fácil utilizar las palancas previamente analizadas para lograr la coordinación si se construyen sociedades estratégicas y de confianza dentro de la cadena de suministro. El compartimiento

de información precisa, en la que cada etapa pueda confiar, da por resultado una mejor igualación de la oferta y la demanda por toda la cadena de suministro y un costo más bajo. Una mejor relación también tiende a reducir el costo de transacción entre las etapas de la cadena de suministro. Por ejemplo, un proveedor puede eliminar su esfuerzo de pronosticación si confía en los pedidos y en la información de pronóstico recibida del minorista. Asimismo el minorista puede aminorar el esfuerzo de recepción al disminuir el conteo e inspecciones si confía en la calidad y entrega del proveedor. En general, las etapas en una cadena de suministro pueden eliminar el esfuerzo duplicado con base en la confianza mejorada y una mejor relación. Esta reducción del costo de transacción junto con una información compartida precisa ayuda a mejorar la coordinación. Walmart y P&G han estado tratando de construir una sociedad estratégica que coordine mejor sus acciones y que sea mutuamente beneficiosa.

La investigación de Kumar (1996) mostró que cuantos más minoristas confiaban en sus proveedores, era menos probable que desarrollaran fuentes alternas al mismo tiempo que incrementaban significativamente las ventas de sus productos. En general, un alto nivel de confianza permite a una cadena obtener más capacidad de respuesta a un menor costo. Acciones como compartir información, cambiar de incentivos, mejoras operacionales y estabilización de precios suelen ayudar a mejorar el nivel de confianza. Incrementar el nivel de cooperación y confianza dentro de una cadena de suministro requiere una identificación clara de los roles y derechos de decisión de todas las partes, contratos eficaces y buenos mecanismos de resolución de conflictos.

10.5 REABASTECIMIENTO CONTINUO E INVENTARIOS ADMINISTRADOS POR EL VENDEDOR

La distorsión de la información se puede amortiguar por prácticas que asignen la responsabilidad de reabastecimiento a través de la cadena de suministro a una sola entidad. Un solo punto de toma de decisiones de reabastecimiento garantiza la visibilidad y un pronóstico común que promueve los pedidos a través de la cadena de suministro. Dos prácticas comunes de la industria que asigna la responsabilidad a un solo punto son programas de reabastecimiento continuo e inventarios administrados por el vendedor.

En programas de reabastecimiento continuo (CRP, *Continuous Replenishment Programs*), el mayorista o fabricante reabastece con regularidad a un minorista con base en datos de POS. Los CRP pueden ser administrados por un proveedor, un distribuidor o un tercero. En la mayoría de los casos los sistemas CRP se activan por retiros actuales de inventario desde los almacenes de los minoristas más que de por datos POS a nivel del minorista. La vinculación de los sistemas CRP con retiros del almacén es más fácil de implementar, y los minoristas a menudo se sienten más cómodos compartiendo datos a este nivel. Los sistemas de TI que están vinculados a través de la cadena de suministro proporcionan una buena estructura de información en la que se puede basar un programa de reabastecimiento continuo. En sistemas CRP, el inventario en la instalación del minorista es propiedad de éste.

Con el inventario administrado por el vendedor (VMI, *Vendor-Managed Inventory*), el fabricante o proveedor es responsable de todas las decisiones en relación con inventarios de producto en la instalación del minorista. Como resultado, el control de la decisión de reabastecimiento se pasa al fabricante en lugar de al minorista. En muchos casos de VMI, el inventario es propiedad del proveedor hasta que lo vende el minorista. El VMI requiere que el minorista comparta la información de la demanda con el fabricante para que tome decisiones de reabastecimiento de inventario. El VMI permite que un fabricante incremente sus utilidades y también las de toda la cadena si se consideran los márgenes tanto del minorista como del fabricante cuando se tomen decisiones de inventario. El programa de VMI también ayuda al transferir los datos de la demanda del cliente al fabricante, el cual luego puede planear la producción proporcionalmente. Esto ayuda a mejorar los pronósticos del fabricante y a igualar mejor la producción del fabricante con la demanda del cliente.

El programa de VMI se ha implementado con éxito significativo, entre otros, por Kmart (con cerca de 50 proveedores) y Fred Meyer. Kmart vio incrementarse las rotaciones de inventario de artículos estacionales de 3 a entre 9 y 11, y de artículos no estacionales de 12 a 15 a 17 a 20. Fred Meyer vio reducirse los inventarios de 30 a 40% mientras que las tasas de terminado se incrementaban a 98%. Otras empresas de implementación exitosa incluyen a Campbell Soup, Frito-Lay y Procter & Gamble.

Una desventaja del programa VMI surge debido a que con frecuencia los minoristas venden productos de fabricantes competidores que el cliente considera sustitutos. Por ejemplo, un cliente puede sustituir el detergente fabricado por Procter & Gamble con detergente fabricado por Lever Brothers. Si el minorista tiene

un acuerdo de VMI con ambos fabricantes, cada fabricante ignorará el impacto de la sustitución cuando tome sus decisiones de inventario. En consecuencia, los inventarios en el minorista serán más que óptimos. En tal escenario, el minorista puede estar en una mejor posición para decidir sobre la política de reabastecimiento. Otra posibilidad es que el minorista defina un líder de categoría de entre los proveedores y haga que el líder administre las decisiones de reabastecimiento para todos los proveedores dentro de la categoría. Walmart sigue esta práctica y asigna un líder de categoría a la mayoría de sus productos. Walmart establece el nivel objetivo de disponibilidad de producto a través de todos los productos y el líder de categoría diseña políticas de reabastecimiento para alcanzar estos niveles. Esto garantiza que el líder no favorezca a ningún producto de un proveedor sobre otro. Por ejemplo, HP fue líder de categoría de Walmart de impresoras y administraba todo el reabastecimiento de impresoras.

10.6 PLANEACIÓN, PRONOSTICACIÓN Y REABASTECIMIENTO COLABORATIVOS (CPFR)

La Voluntary Interindustry Commerce Standards (VICS) Association ha definido a la CPFR (***Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment)*** como “una práctica de negocio que combina la inteligencia de múltiples socios en la planeación y cumplimiento de la demanda del cliente”. Según la VICS, a partir de 1998 “más de 300 compañías han implementado el proceso”. En esta sección describimos la CPFR y algunas implementaciones exitosas. Es importante entender que la CPFR exitosa se puede construir sólo a partir de que las dos partes hayan sincronizado sus datos y establecido normas para el intercambio de información. Mucho del material incluido en esta sección es una adaptación de material del sitio Web de VICS, www.vics.org/committees/cpfr.

Los vendedores y compradores en una cadena de suministro pueden colaborar a lo largo de todas o de cualquiera de las cuatro siguientes actividades de la cadena de suministro:

1. ***Estrategia y planeación.*** Los socios determinan el alcance de la colaboración y asignan roles, responsabilidades y punto de verificación claros. En un plan de negocio conjunto, luego identifican eventos significativos como promociones, nuevas introducciones de producto, aperturas/cierres de tiendas y cambios en la política de inventarios que afectan la demanda y la oferta.
2. ***Administración de la demanda y la oferta.*** Un pronóstico de ventas colaborativo proyecta la mejor estimación de los socios de la demanda en el punto de venta. Éste luego se convierte en un plan colaborativo que determina los futuros pedidos y los requerimientos de entrega con base en pronósticos de ventas, posiciones del inventario y tiempos de espera de reabastecimiento.
3. ***Ejecución.*** Conforme los pronósticos se confirman, se convierten en pedidos reales. El cumplimiento de estos pedidos implica entonces la producción, el envío y el almacenamiento de productos.
4. ***Análisis.*** Las tareas de análisis clave se enfocan en identificar excepciones y evaluar métricas que se utilizan para confirmar el desempeño o identificar tendencias.

Un aspecto fundamental de la colaboración exitosa es la identificación y resolución de excepciones. Éstas se refieren a una brecha entre los pronósticos hechos por los dos lados o alguna otra métrica de desempeño que se está saliendo de los objetivos o es probable que salga de los límites aceptables. Estas métricas pueden incluir inventarios que exceden los objetivos o disponibilidad de producto que se queda por debajo de los objetivos. Para una CPFR exitosa, es importante contar con un proceso que permita que las dos partes resuelvan excepciones. En VICS CPFR Voluntary Guidelines V2.0 (2002) se analizan procesos con detalle y se resuelven excepciones.

Una implementación de CPFR exitosa incluye a Henkel, un fabricante alemán de detergente, y a Eroski un minorista español de productos alimenticios. Antes de la CPFR, Eroski experimentaba desabastos frecuentes de productos Henkel, en especial durante las promociones. Al implantar la CPFR en diciembre de 1999, 70% de los pronósticos de ventas tuvieron un error promedio de más de 50% y sólo 5% de los pronósticos tuvieron errores de más de 20%. A menos de cuatro meses de la implementación de la CPFR, sin embargo, 70% de los pronósticos de ventas tuvieron errores de 20% y sólo 5% tuvieron errores de más de 50%. La CPFR dio por resultado un nivel de servicio al cliente de 98% y un inventario promedio de sólo cinco días. Esto se logró a pesar de que se promovían 15 a 20 productos cada mes.

Otra implementación exitosa implicó a Johnson & Johnson y Superdrug, una cadena en el Reino Unido. Durante el periodo de prueba de tres meses que comenzó en abril de 2000, Superdrug vio caer 13% los niveles de inventario en sus centros de distribución, mientras que la disponibilidad del producto en sus centros de distribución se incrementó 1.6%. Como lo reportó Steerman (2003), Sears también obtuvo beneficios significativos con su iniciativa de CPFR con Michelin en 2001. Sus niveles de existencias mejoraron 4.3%, las tasas de terminado de los centro de distribución a las tiendas mejoraron 10.7% y los niveles de inventario totales se redujeron 25%.

VICS ha identificado los cuatro escenarios que aparecen en la tabla 10-2 como las áreas más comunes donde ha habido implementaciones de CPFR a gran escala entre el minorista y el fabricante.

A continuación describimos cada uno de los cuatro escenarios.

Colaboración en eventos minoristas

En muchos entornos minoristas, como supermercados, las promociones y otros eventos minoristas tienen un impacto significativo en la demanda. Las faltas de existencias, el inventario en exceso y los costos logísticos no planeados durante estos eventos afectan el desempeño financiero tanto del minorista como del fabricante. En tal escenario la colaboración entre minoristas y proveedores para planear, pronosticar y reponer promociones es eficaz.

La colaboración en eventos minoristas requiere que las dos partes identifiquen marcas y SKU específicas que están incluidas en la colaboración. Se comparten los detalles del evento como la elección del momento oportuno, la duración, el precio, la publicidad y tácticas de exhibición. Es importante que el minorista actualice esta información conforme ocurran cambios. Luego se crean y comparten pronósticos específicos del evento. Estos pronósticos se convierten después en pedidos y entregas planeados. Conforme transcurre el evento se monitorean las ventas para identificar cualesquier cambios o excepciones, lo cuales se resuelven a través de un proceso iterativo entre las dos partes.

P&G ha implementado alguna forma de colaboración en eventos con una variedad de socios, incluido Walmart.

Colaboración en el reabastecimiento de un centro de distribución

La colaboración en el reabastecimiento de un centro de distribución es quizás la forma más común de colaboración observada en la práctica y también la más simple de implementar. En este escenario los dos socios colaboran en el pronóstico de retiros del CD o de la demanda anticipada del CD al fabricante. Estos pronósticos se convierten en una oleada de pedidos del CD al fabricante comprometidos o asegurados durante un horizonte de tiempo específico. Esta información permite al fabricante incorporar los pedidos anticipados a futuros planes de producción y cumplir con los pedidos comprometidos en demanda. El resultado es una reducción del costo de producción por parte del fabricante y una reducción del inventario y faltas de existencias por parte del minorista.

Tabla 10-2 Cuatro escenarios comunes de CPFR

Escenario de CPFR	Donde se aplica en la cadena de suministro	Industrias donde se aplica
Colaboración en eventos minoristas	Colaboración en el reabastecimiento del centro de distribución	Colaboración en el reabastecimiento de la tienda
Planeación del surtido colaborativa	Canales o categorías ampliamente promocionadas	CD del minorista o del distribuidor
Entrega directa en la tienda o entrega del CD del minorista a la tienda	Ropa y artículos estacionales	Todas las industrias aparte de aquellas que practican la política de precios bajos todos los días
Farmacias, ferreterías, supermercados	Mayoristas, tiendas club	Tiendas departamentales, tiendas especializadas

La colaboración en el reabastecimiento del centro de reabastecimiento es relativamente fácil de implementar porque requiere colaborar en un pronóstico agregado y no se necesita compartir datos detallados del punto de venta.

En consecuencia, a menudo es el mejor escenario para comenzar la colaboración. Con el tiempo, esta forma de colaboración se puede ampliar para incluir todos los puntos de almacenamiento en la cadena de suministro desde los anaqueles del minorista hasta almacenes de materia prima. De acuerdo con Hammond (1994), Barilla implementó esta forma de colaboración con sus distribuidores.

Colaboración en el reabastecimiento de la tienda

En la colaboración del reabastecimiento de la tienda, los socios comerciales colaboran en los pronósticos de punto de venta a nivel de tienda. Entonces estos pronósticos se convierten en pedidos a nivel de tienda, con los pedidos comprometidos a lo largo de un horizonte de tiempo específico. Esta forma de colaboración es mucho más difícil de implementar que una colaboración a nivel de CD, sobre todo, si las tiendas son pequeñas. La colaboración en el reabastecimiento de tiendas es más fácil si las tiendas son grandes como Costco y Home Depot. Los beneficios de la colaboración a nivel de tienda incluyen una mayor visibilidad de las ventas para el fabricante, una precisión mejorada del reabastecimiento, una disponibilidad mejorada del producto e inventarios reducidos. Esta forma de colaboración es beneficiosa para productos y promociones nuevos. Los fabricantes y sus proveedores pueden usar esta información para mejorar la ejecución operacional.

Planeación colaborativa en el surtido

La ropa de moda y otros artículos estacionales siguen un patrón de demanda estacional. Por tanto, la planeación colaborativa en estas categorías tiene un horizonte de una sola temporada y se realiza a intervalos estacionales. Dada la naturaleza estacional, los pronósticos se basan menos en datos históricos y más en la interpretación colaborativa de tendencias de la industria, factores macroeconómicos y gustos del cliente. En esta forma de colaboración los socios comerciales desarrollan un plan de surtido conjuntamente. El resultado es un pedido de compra planeado a nivel de estilo/color/talla. El pedido planeado se comparte electrónicamente con anticipación a una demostración en la que se ven productos muestra y se toman decisiones finales de compra. Los pedidos planeados ayudan al fabricante a comprar materia prima de largo tiempo de espera y planear la capacidad. Esta forma de colaboración es más útil si la capacidad es suficientemente flexible para acomodar una combinación de productos y las materias primas tienen algunas características compartidas en los productos finales.

Requerimientos organizacionales y tecnológicos para una CPFR exitosa

Una implementación de CPFR exitosa requiere cambios en la estructura organizacional y, para que sea expandible, requiere la implementación de tecnología apropiada. Una colaboración eficaz requiere que los fabricantes formen equipos interfuncionales, equipos de clientes específicos que incluyan ventas, planeación de demanda, y logística, al menos para clientes grandes. Tal enfoque se ha vuelto factible con la consolidación en el ámbito minorista. Para clientes pequeños los equipos pueden enfocarse por geografía o canal de ventas. Los minoristas también deben tratar de organizar la planeación, compra y reabastecimiento en equipos en torno a los proveedores. Esto puede ser difícil por el gran número de proveedores que los minoristas consolidados tienen. Luego pueden organizar los equipos por categorías que incluyan múltiples proveedores. Para minoristas que tienen múltiples niveles de inventario como CD y tiendas minoristas, es importante combinar los equipos de reabastecimiento en los dos niveles. Sin una administración del inventario colaborativa en los dos niveles, la duplicación de inventarios es común. En la figura 10-4 se ilustra la estructura organizacional propuesta.

El proceso de CPFR no depende de la tecnología pero sí requiere que ésta sea escalable. Se han desarrollado tecnologías de CPFR que hacen que sea más fácil compartir pronósticos e información histórica para evaluar condiciones de excepción y permitir revisiones. Estas soluciones se deben integrar con sistemas que registren todas las transacciones realizadas en la cadena de suministro.

Riesgos y obstáculos para la implementación de una CPFR

Es importante darse cuenta que hay riesgos y obstáculos para una implementación exitosa de la CPFR. Dado que la información se comparte a gran escala, existe el riesgo de un mal uso de la información. A menudo

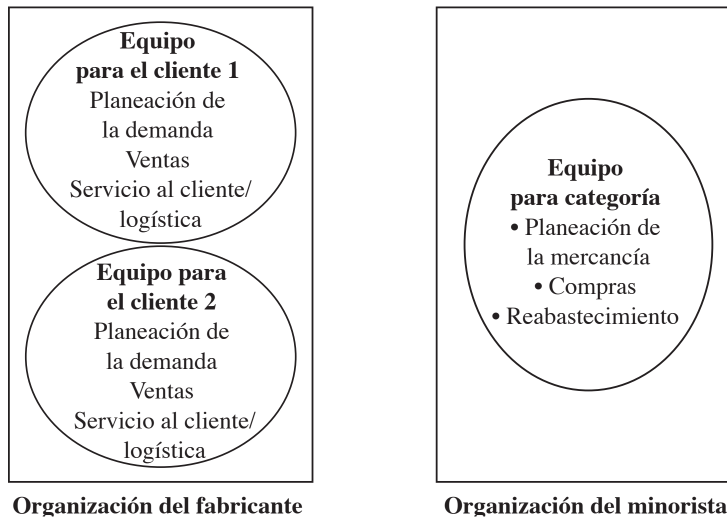


FIGURA 10-4 Estructura organizacional colaborativa *Fuente*: Adaptado de Voluntary Interindustry Commerce Standards (2004). *CPFR: An Overview*.

uno o los dos socios en la CPFR tienen relaciones con los competidores del socio. Otro riesgo es que si uno de los socios cambia su escala o tecnología, el otro socio se ve obligado a adaptarse o a perder la relación colaborativa. A fin de cuentas, la implementación de la CPFR y la resolución de excepciones requieren interacciones estrechas entre dos entidades cuyas culturas pueden ser muy diferentes. La incapacidad de fomentar una cultura colaborativa entre socios puede ser un obstáculo importante para el éxito de la CPFR. Uno de mayores obstáculos para el éxito es que a menudo los socios intentan la colaboración a nivel de tienda, lo que requiere una inversión en tecnología y organizacional más alta. A menudo lo mejor es comenzar con una colaboración a nivel de evento o CD, más enfocada y en la que más fácil colaborar. Uno de los obstáculos más grandes para la CPFR exitosa, sin embargo, es que la información de la demanda compartida con los socios a menudo no se utiliza dentro de la organización de una manera integrada. Es importante contar con una planeación integrada de la demanda, oferta, logística y corporativa dentro de la organización para maximizar los beneficios del esfuerzo de la CPFR con un socio.

10.7 LOGRO DE LA COORDINACIÓN EN LA PRÁCTICA

1. ***Cuantificar el efecto de látigo.*** Las compañías a menudo no tienen idea de que el efecto de látigo desempeña un rol significativo en su cadena de suministro. Los gerentes deben comenzar por comparar la variabilidad en los pedidos que reciben de sus clientes con la variabilidad en los pedidos que colocan con sus proveedores. Esto ayuda a una empresa a cuantificar su propia contribución al efecto de látigo. Una vez que su contribución se pone de manifiesto, llega a ser más fácil que una empresa acepte el hecho de que todas las etapas en la cadena de suministro contribuyen al efecto de látigo, lo que conduce a una pérdida significativa de utilidades. Sin esta información concreta, las compañías tratan de reaccionar mejor ante la variabilidad en vez de eliminarla. Esto hace que las compañías inviertan sumas significativas en sistemas de programación y administración de inventarios, sólo para ver un poco de mejora en el desempeño o las utilidades. La evidencia del tamaño del efecto de látigo es eficaz al hacer que las diferentes etapas de la cadena de suministro se esfuercen para lograr la coordinación y eliminar la variabilidad creada dentro de la cadena de suministro.

2. ***Hacer que la alta gerencia se comprometa para lograr la coordinación.*** Más que cualquier otro aspecto de la administración de la cadena de suministro, la coordinación puede tener éxito sólo con el compromiso de la alta gerencia. La coordinación requiere que los gerentes en todas las etapas de la cadena de suministro subordinen sus intereses locales al mayor interés de la empresa en una forma que requiere que muchas funciones en la cadena de suministro cambien sus prácticas tradicionales. Estos cambios a menudo contrarrestan los métodos que se pusieron en vigor cuando cada función se enfocaba sólo en sus objetivos

locales. Tales cambios dentro de una cadena de suministro no pueden implementarse sin un firme compromiso por parte de la alta gerencia. El compromiso de la alta gerencia fue un factor clave que ayudó a Walmart y a P&G a formar equipos de pronosticación y reabastecimiento colaborativos.

3. ***Dedicar recursos a la coordinación.*** La coordinación no puede lograrse sin que todas las partes implicadas dediquen recursos administrativos significativos a este esfuerzo. Las compañías no suelen destinar recursos a la coordinación pues suponen que la falta de coordinación es algo con lo que tienen que vivir o esperan que la coordinación ocurra por sí misma. El problema con este enfoque es que deja a todos los gerentes implicados con sólo las áreas que controlan, mientras que nadie es responsable de recalcar el efecto de las acciones de un gerente sobre otras partes de la cadena. Una de las mejores formas de resolver problemas de coordinación es por medio de equipos compuestos de miembros de diferentes compañías de toda la cadena de suministro. Estos equipos deben hacerse responsables de la coordinación y se les debe dar el poder para implementar los cambios requeridos. La formación de un equipo de coordinación es infructuosa a menos que el equipo tenga el poder para actuar, porque tendrá conflictos con los gerentes funcionales que actualmente estén maximizando objetivos locales. Los equipos de coordinación pueden ser eficaces una vez que se genere un nivel suficiente de confianza entre miembros de diferentes empresas. Si se utilizan adecuadamente, los equipos de coordinación pueden proporcionar un beneficio significativo, como ha sucedido con los equipos de pronosticación y reabastecimiento formados por Walmart y P&G.

4. ***Enfocarse en la comunicación con otras etapas.*** Una buena comunicación con otras etapas de la cadena de suministro a menudo crea situaciones que resaltan el valor de la coordinación por ambos lados. Por lo común las compañías no se comunican con otras etapas de la cadena de suministro y no están dispuestas a compartir información. Sin embargo, a menudo todas las compañías que forman parte de la cadena de suministro se sienten frustradas por la falta de coordinación y les agradaría compartir información si eso ayudara a la cadena de suministro a operar de una manera más eficiente. La comunicación regular entre las partes implicadas facilita cambiar tal situación. Por ejemplo, una importante compañía de computadoras personales había estado pidiendo sus microprocesadores en lotes de varias semanas de producción. Estaba tratando de cambiarse a un ambiente de fabricación sobre pedido en el que colocaría pedidos diarios de microprocesadores. La compañía de computadoras personales suponía que el proveedor de microprocesadores no estaría dispuesto a seguir adelante con este método. Sin embargo, una vez que se abrió la comunicación con el proveedor, lo opuesto se volvió realidad. El proveedor también deseaba reducir los tamaños de lote y aumentar la frecuencia de los pedidos. Pensaba que el fabricante de computadoras personales deseaba grandes lotes y por tanto nunca solicitó un cambio. La comunicación regular ayuda a las diferentes etapas de la cadena de suministro a compartir sus metas y a identificar metas comunes y acciones mutuamente beneficiosas que mejoren la coordinación.

5. ***Tratar de lograr la coordinación en toda la red de la cadena de suministro.*** El resultado completo de la coordinación se logra sólo cuando toda la red de la cadena de suministro se coordina. No basta con que dos etapas en una cadena de suministro se coordinen. La parte más poderosa en una cadena de suministro debe esforzarse para lograr la coordinación en toda la red. Toyota ha sido muy eficaz al lograr el compartimiento del conocimiento y la coordinación en toda su red.

6. ***Usar tecnología para mejorar la conectividad en la cadena de suministro.*** Se pueden utilizar varios sistemas de software y la Internet para incrementar la visibilidad de la información en toda la cadena de suministro. Hasta ahora la mayoría de las implementaciones de tecnología de la información han logrado la visibilidad de la información sólo dentro de una empresa. La visibilidad a través de la cadena de suministro requiere más esfuerzo en la mayoría de los casos. Del análisis en este capítulo se pone de manifiesto que los mayores beneficios de los sistemas de tecnología de la información pueden obtenerse sólo si los sistemas ayudan a incrementar la visibilidad a través de la cadena de suministro y facilitan la coordinación. Para que las compañías obtengan el beneficio completo de las enormes inversiones que hacen en sistemas de tecnología actuales, sobre todo en sistemas ERP, es crucial que hagan el esfuerzo extra requerido para usarlos con el objetivo de facilitar la pronosticación y planeación colaborativas a través de la cadena de suministro. La Internet debe usarse para compartir información e incrementar la conectividad en la cadena de suministro.

7. ***Compartir equitativamente los beneficios de la coordinación.*** El mayor obstáculo para la coordinación en la cadena de suministro es la creencia por parte de cualquier etapa que los beneficios de la coordinación se están compartiendo equitativamente. Los gerentes de la parte más fuerte en la relación de

la cadena de suministro deben ser sensibles a este hecho y garantizar que todas las partes perciban que la forma en que se comparten los beneficios es justa.

10.8 RESUMEN

1. ***Describir la coordinación en una cadena de suministro y el efecto de látigo, así como su impacto en el desempeño de la cadena de suministro.*** La coordinación de la cadena de suministro requiere que todas las etapas realicen acciones que maximicen las utilidades totales de la cadena de suministro. Una falta de coordinación se da si diferentes etapas se enfocan en optimizar sus objetivos locales, o si la información se distorsiona a medida que avanza por la cadena de suministro. El fenómeno de que la fluctuación en los pedidos aumente conforme nos movemos hacia la parte alta de la cadena de suministro, de los minoristas a los mayoristas, a los fabricantes y hasta los proveedores, se conoce como efecto de látigo. Éste incrementa todos los costos en la cadena de suministro y reduce los niveles de servicio a clientes. El efecto de látigo aleja a todas las partes de la cadena de suministro de la frontera eficiente y reduce tanto la satisfacción del cliente como la rentabilidad dentro de la cadena de suministro.

2. ***Identificar los obstáculos para la coordinación en una cadena de suministro.*** Un obstáculo clave para la coordinación en la cadena de suministro son los incentivos desalineados que hacen que diferentes etapas optimicen sus objetivos locales en vez de las utilidades totales de la cadena. Otros obstáculos incluyen la falta de compartimiento de la información, las ineficiencias operacionales que provocan largos tiempos de espera de reabastecimiento y grandes lotes, incentivos de la fuerza de ventas que alientan las compras adelantadas, esquemas de racionamiento que inflan los pedidos, promociones que motivan las compras adelantadas, y una falta de confianza que dificulta la coordinación.

3. ***Analizar palancas administrativas que ayudan a lograr la coordinación en una cadena de suministro.*** Los gerentes pueden ayudar a lograr la coordinación en la cadena de suministro si alinean las metas e incentivos a través de diferentes funciones y etapas de la cadena de suministro. Otras acciones que pueden realizar para lograr la coordinación incluyen el compartimiento de la información, la pronosticación y planeación colaborativas, la implementación de un solo punto de control de reabastecimiento, que mejoren las operaciones para reducir los tiempos de espera y tamaños de lote, las EDLP y otras que limiten la compras adelantadas y la construcción de confianza y sociedades estratégicas dentro de la cadena de suministro.

4. ***Entender las diferentes formas de planeación, pronosticación y reabastecimiento colaborativas posibles en una cadena de suministro.*** Los socios pueden establecer relaciones CPFR para colaborar en eventos de tienda, reabastecimiento del CD, reabastecimiento de la tienda o planeación del surtido. A menudo la colaboración en el reabastecimiento del CD es la más fácil de implementar porque requiere datos a nivel de agregación. La colaboración en el reabastecimiento de la tienda requiere un nivel más alto de tecnología y compartimiento de datos para que tenga éxito.

Preguntas para debate

1. ¿Cuál es el efecto de látigo y cómo se relaciona con la falta de coordinación en una cadena de suministro?
2. ¿Cuál es el impacto de la falta de coordinación en el desempeño de una cadena de suministro?
3. ¿En qué forma pueden los incentivos inadecuados conducir a una falta de coordinación en una cadena de suministro? ¿Qué medidas preventivas se pueden aplicar para contrarrestar este efecto?
4. ¿Qué problemas resultan si cada etapa de una cadena de suministro considera su demanda como los pedidos colocados por la etapa corriente abajo? ¿Cómo deben comunicarse las empresas dentro de una cadena de suministro para facilitar la coordinación?
5. ¿Qué factores conducen los pedidos por lotes dentro de una cadena de suministro? ¿Cómo afecta esto la coordinación? ¿Qué acciones pueden minimizar los lotes grandes y mejorar la coordinación?
6. ¿Cómo afectan las promociones comerciales y las fluctuaciones de precios la coordinación en una cadena de suministro? ¿Qué políticas de precios y promociones puede facilitar la coordinación?
7. ¿En qué forma es la construcción de sociedades estratégicas y confianza valiosas en una cadena de suministro?
8. ¿Cuáles son los diferentes escenarios de CPFR y cómo benefician a los socios de la cadena de suministro.

Bibliografía

Bowersox, Donald J., David J. Closs, y Theodore P. Stank (Otoño de 1999). 21st Century Logistics: Making Supply Chain Integration a Reality. *Supply Chain Management Review,* pp. 44-49.

Brunell, Tom (Primavera de 1999). Managing a Multicompany Supply Chain. *Supply Chain Management Review,* pp. 45-52.

Cederlund, Jerold P., Rajiv Kohli, Susan A. Sherer, y Yuiling Yao.(Octubre 2007). How Motorola put CPFR into Action. *Supply Chain Management Review,* pp. 28-35.

Child, John, y David Faulkner (1998). *Strategies of Cooperation.* Oxford, Inglaterra: Oxford University Press.

Computer Assisted Ordering: Practices and Benefits Report (1994). Washington, DC: Grocery Manufacturers Association.

Continuous Replenishment (1994). *An ECR Best Practices Report.* Washington, DC: Grocery Manufacturers Association.

Crum, Colleen, y George E. Palmatier (Enero-febrero 2004). Demand Collaboration: What's Holding Us Back? *Supply Chain Management Review,* pp. 54-61.

Disney, S. M., y D. R. Towill (2003). The Effect of Vendor Managed Inventory (VMI) Dynamics on the Bullwhip Effect in Supply Chains. *International Journal of Production Economics* 85, pp. 199-215.

Hammond, Janice H. (1994). *Barilla Spa (A-D).* Harvard Business School Case 9, pp. 694-046.

Kumar, Nirmalya (Noviembre-diciembre 1996). The Power of Trust in Manufacturer-Retailer Relationships. *Harvard Business Review,* pp. 92-106.

Lee, Han L., V. Padmanabhan, y Seungjin Whang. (Primavera de 1997). The Bullwhip Effect in Supply Chains. *Sloan Management Review,* pp. 93-102.

Mariotti, John L. (Primavera de 1999). The Trust Factor in Supply Chain Management. *Supply Chain Management Review,* pp. 70-77.

Sabath, Robert E. y John Fontanella (Julio-agosto 2002). The Unfulfilled Promise of Supply Chain Collaboration. *Supply Chain Management Review*, pp 24-29.

Seifert, Dirk (2003). *Collaborative Planning*, *Forecasting*, *and Replenishment: How to Create a Supply Chain Advantage.* Nueva York: AMACOM.

Senge, Peter M. (1990). *The Fifth Discipline.* Nueva York: Currency and Doubleday.

Smeltzer, Larry R. (Septiembre-octubre 2001). Integration Means Everybody—Big and Small. *Supply Chain Management Review*, pp. 36-44.

Smith, L (Marzo 2006). West Marine: A CPFR Success Story. *Supply Chain Management Review,* pp. 29-36.

Steerman, Hank (Julio-agosto 2003). A Practical Look at CPFR: The Sears-Michelin Experience. *Supply Chain Management Review,* pp. 46-53.

Voluntary Interindustry Commerce Standards (2002). *Collaborative Planning, Forecasting*, *and Replenishment*, Version 2.0.

Voluntary Interindustry Commerce Standards (2004). *CPFR: An Overview*.

11



Administración de las economías de escala en una cadena de suministro: inventario de ciclo

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Balancear los costos adecuados para elegir el tamaño de lote óptimo y el inventario de ciclo en una cadena de suministro.
2. Comprender el impacto de los descuentos por cantidad en el tamaño del lote y el inventario de ciclo.
3. Diseñar esquemas de descuento apropiados para una cadena de suministro.
4. Comprender el impacto de las promociones comerciales en el tamaño del lote y el inventario de ciclo.
5. Identificar los instrumentos administrativos que reducen el tamaño del lote y el inventario de ciclo en una cadena de suministro sin incrementar los costos.

El inventario de ciclo existe porque la producción o compra en lotes grandes permite a una etapa de la cadena de suministro aprovechar las economías de escala y así reducir los costos. La presencia de costos fijos asociados con los pedidos y la transportación, los descuentos por cantidad en el precio del producto y los descuentos o promociones en el corto plazo alientan a las diferentes etapas de la cadena de suministro a aprovechar las economías de escala y a realizar pedidos en lotes grandes. En este capítulo estudiamos cómo afecta cada uno de estos factores el tamaño del lote y el inventario de ciclo dentro de una cadena de suministro. El objetivo principal es identificar los mecanismos administrativos que reducen el inventario de ciclo en una cadena de suministro sin aumentar los costos.

11.1 ROL DEL INVENTARIO DE CICLO EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Un *tamaño de lote* o *tamaño de pedido* es la cantidad que una etapa de una cadena de suministro produce o compra en una sola vez. Considere, por ejemplo, una tienda de computadoras que vende un promedio de cuatro impresoras al día. Sin embargo, el gerente de la tienda solicita al fabricante 80 impresoras cada vez que coloca un pedido. El tamaño del lote o del pedido en este caso es de 80 impresoras. Dada la venta diaria de cuatro impresoras, se requiere un promedio de 20 días para que la tienda venda todo el lote y compre un lote de reabastecimiento. La tienda de computadoras mantiene un inventario de impresoras debido a que el administrador compra un tamaño de lote mayor que las ventas diarias de la tienda. El *inventario de ciclo* es el inventario promedio en una cadena de suministro debido a la producción o compra de lotes más grandes que los que el cliente demanda.

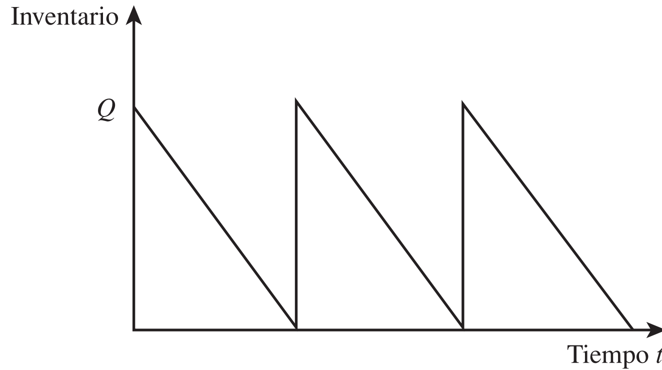


FIGURA 11-1 Perfil del inventario de jeans en Jean-Mart.

En el resto de este capítulo se utiliza la siguiente notación:

Q: Cantidad en un tamaño de lote o pedido

D: Demanda por unidad de tiempo

En este caso ignoramos el impacto de la variabilidad de la demanda y suponemos que la demanda es estable. En el capítulo 12 presentamos la variabilidad de la demanda y su impacto en el inventario de seguridad.

Consideremos el inventario de ciclo para los jeans en Jean-Mart, una tienda departamental. La demanda de jeans se mantiene relativamente estable en $D = 100$ pares de pantalones por día. El gerente de la tienda en Jean-Mart suele comprar en lotes de $Q = 1{,}000$ pares. El *perfil del inventario* de jeans en Jean-Mart es una gráfica que representa el nivel del inventario a través del tiempo, como se muestra en la figura 11-1.

Dado que las compras se hacen en lotes de $Q = 1{,}000$ unidades, mientras que la demanda sólo es $D = 100$ unidades por día, se necesitan 10 días para que pueda venderse el lote completo. A lo largo de estos 10 días el inventario de jeans en Jean-Mart disminuye constantemente desde 1,000 unidades (cuando llega el lote) hasta 0 (cuando se vende el último pantalón). Esta secuencia de un lote que llega y una demanda que agota el inventario hasta que llega otro lote se repite cada 10 días, como se muestra en el perfil de inventario de la figura 11-1.

Cuando la demanda es constante, el inventario de ciclo y el tamaño del lote se relacionan de la siguiente manera:

$$\text{Inventario de ciclo} = \frac{\text{tamaño de lote}}{2} = \frac{Q}{2} \quad \textbf{(11.1)}$$

Para un tamaño de lote de 1,000 unidades, Jean-Mart maneja un inventario de ciclo de $Q/2 = 500$ pares de jeans. De la ecuación 11.1, se ve que el inventario de ciclo es proporcional al tamaño del lote. Una cadena de suministro en la que las etapas producen o compran en grandes lotes tiene más inventario de ciclo que una cadena de suministro cuyas etapas producen y compran en lotes más pequeños. Por ejemplo, si una tienda departamental de la competencia con la misma demanda compra en tamaños de lote de 200 pares de jeans, conservará un inventario de ciclo de tan sólo 100 jeans.

Los tamaños de lote y el inventario de ciclo también influyen en el tiempo de flujo del material dentro de la cadena de suministro. Recuerde, de la ley de Little (ecuación 3.1), que

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{\text{inventario promedio}}{\text{tasa de flujo promedio}}$$

Para cualquier cadena de suministro, la tasa de flujo promedio es igual a la demanda. Entonces tenemos

$$\text{Tiempo de flujo promedio resultante del inventario de ciclo} = \frac{\text{inventario de ciclo}}{\text{demanda}} = \frac{Q}{2D}$$

Para tamaños de lote de 1,000 pares de jeans y una demanda diaria de 100 pares de jeans, obtenemos

$$\text{Tiempo de flujo promedio resultante del inventario de ciclo} = \frac{Q}{2D} = \frac{1{,}000}{200} = 5\ \text{días}$$

Así, el inventario de ciclo en la tienda Jean-Mart agrega cinco días a la cantidad promedio de tiempo que pasan los pantalones en la cadena de suministro. Cuanto mayor sea el inventario de ciclo, mayor será el tiempo de demora entre el momento en que se produce un producto y el instante en que se vende. Siempre es deseable un menor nivel de inventario de ciclo porque las demoras muy grandes hacen que una compañía esté vulnerable a los cambios en la demanda del mercado. Un menor inventario de ciclo también disminuye los requerimientos de capital de trabajo de una empresa. Toyota, por ejemplo, mantiene un inventario de ciclo de sólo algunas horas de producción entre la fábrica y la mayoría de los proveedores. Como resultado, Toyota nunca conserva piezas que no sean necesarias y sus necesidades de capital son menores que las de sus competidores. Asimismo, Toyota asigna muy poco espacio en la fábrica para sus inventarios.

Antes de sugerir las acciones que un administrador puede tomar para reducir el inventario de ciclo, es importante entender por qué las etapas de una cadena de suministro producen o compran en grandes lotes y cómo afecta la reducción del tamaño de lote al desempeño de la cadena de suministro.

El inventario de ciclo se mantiene para tomar ventaja de las economías de escala y para reducir los costos dentro de una cadena de suministro. Para entender la forma en que la cadena de suministro alcanza estas economías de escala, primero deben identificarse los costos de la cadena de suministro que están influidos por el tamaño del lote.

El *precio promedio pagado por unidad comprada* es un costo clave en la decisión del tamaño de lote. Un comprador puede aumentar el tamaño del lote si esta acción se traduce en una reducción del precio pagado por unidad comprada. Por ejemplo, si el fabricante de jeans cobra $20 por par para pedidos de menos de 500 pares de jeans y $18 por par para pedidos más grandes, el gerente de la tienda Jean-Mart obtiene el precio más bajo al pedir lotes de al menos 500 pares de jeans. El precio pagado por unidad se conoce como el *costo de material* y se indica por C. Se mide en $/unidad. En muchas situaciones prácticas el costo de material exhibe las economías de escala y el aumento del tamaño del lote disminuye el costo de material.

El *costo fijo de pedido* incluye todos los costos que no varían con el tamaño del pedido pero en los cuales se incurre cada vez que se coloca un pedido. Puede haber un costo fijo administrativo al colocar un pedido, un costo de transporte al trasladar el pedido y un costo de mano de obra por recibir el pedido. Jean-Mart incurre en un costo de $400 por el uso de un camión, independientemente del número de pares de jeans enviados. Si el camión tiene capacidad para 2,000 pares de jeans, un tamaño de lote de 100 pares resulta en un costo de transporte de $4/par, en tanto que un tamaño de lote de 1,000 pares resulta en un costo de transporte de $0.40/par. Dado el costo fijo de transporte por lote, el administrador de la tienda puede reducir el costo de transporte por unidad al aumentar el tamaño del lote. El costo fijo de pedido por lote u orden se indica por S (comúnmente considerado como un costo de preparación) y se mide en $/lote. El costo de pedido también exhibe las economías de escala, y al aumentar el tamaño del lote disminuye el costo fijo de pedido por unidad comprada.

El *costo de retención* es el costo de mantener una unidad en inventario durante un periodo determinado, por lo general un año. Es una combinación del costo de capital, el costo de almacenar físicamente el inventario y el costo que se deriva de que el producto se vuelva obsoleto. El costo de retención de inventario se indica por H y se mide en $/unidad/año. También puede obtenerse como una fracción, h, del costo unitario del producto. Dado un costo unitario de C, el costo de retención H está dado por

$$H = hC \tag{11.2}$$

El costo total de retención aumenta con un incremento en el tamaño del lote y el inventario de ciclo.

En resumen, los costos que deben considerarse en cualquier decisión del tamaño del lote son

- El precio promedio por unidad comprada, $\$C$/unidad
- Costo fijo de pedido en el que se incurre por lote, $\$S$/lote
- Costo de retención en el que se incurre por unidad por año, $\$H$/unidad/año $= hC$

Más adelante en el capítulo, analizamos la forma en que pueden estimarse los diferentes costos en la práctica. Sin embargo, para los propósitos de este análisis, se supone que ya se conocen.

El rol principal del inventario de ciclo es permitir que las diferentes etapas en una cadena de suministro compren productos en tamaños de lote que minimicen la suma de los costos de material, de pedido y de retención. Si un gerente considera el costo de retención solo, reducirá el tamaño del lote y el inventario de ciclo. Sin embargo, las economías de escala en las compras y los pedidos motivan a un gerente a aumentar el tamaño del lote y el inventario de ciclo. Al tomar decisiones sobre el tamaño del lote, un gerente debe hacer el trueque necesario que minimice el costo total.

Idealmente, las decisiones del inventario de ciclo deben tomarse considerando el costo total a través de toda la cadena de suministro. En la práctica, sin embargo, por lo general cada etapa toma sus propias decisiones sobre el inventario de ciclo de manera independiente. Como analizaremos posteriormente en el capítulo, esta práctica aumenta el nivel del inventario de ciclo, así como el costo total de la cadena de suministro.

Punto clave

El inventario de ciclo existe en una cadena de suministro debido a que las diferentes etapas explotan las economías de escala para reducir el costo total. Los costos considerados incluyen el costo de material, el costo fijo de pedido y el costo de retención.

Cualquier etapa de la cadena de suministro explota las economías de escala en sus decisiones de reposición en las siguientes tres situaciones típicas:

1. Se incurre en un costo fijo cada vez que se coloca o se produce un pedido.
2. El proveedor ofrece descuentos de precio basado en la cantidad comprada por lote.
3. El proveedor ofrece descuentos de precio en el corto plazo o sostiene promociones comerciales.

En las siguientes secciones revisamos cómo los administradores de compras pueden tomar ventaja de estas situaciones.

11.2 ESTIMACIÓN PRÁCTICA DE LOS COSTOS RELACIONADOS CON EL INVENTARIO DE CICLO

Al ajustar los niveles del inventario en la práctica, un obstáculo común es la estimación de los costos de pedido y retención. Dada la robustez de los modelos de inventario de ciclo, es mejor tener una buena aproximación rápidamente en vez de pasar mucho tiempo tratando de estimar los costos con exactitud.

Nuestro objetivo es identificar los costos adicionales que cambian con la decisión del tamaño de lote. Los costos que no cambian con una modificación en el tamaño de lote pueden pasarse por alto. Por ejemplo, si una fábrica funciona a 50% de su capacidad y todo el personal labora a tiempo completo sin ganar horas extra, puede argumentarse que el costo de arranque incremental para la mano de obra es cero. La reducción del tamaño del lote en este caso no tendrá ningún impacto en el costo de arranque hasta que la mano de obra se utilice plenamente (y gane tiempo extra) o las máquinas se utilicen por completo (con la consiguiente pérdida de la capacidad de producción).

Costo de retención del inventario

El costo de retención se calcula como un porcentaje del costo de un producto y es la suma de los siguientes componentes principales:

- ***Costo de capital:*** Éste es el componente dominante del costo de retención para los productos que no se vuelven obsoletos rápidamente. El enfoque adecuado consiste en evaluar el *costo promedio ponderado de capital* (*WACC, Weihgted-Average Cost of Capital*),[1] que toma en cuenta el rendimiento requerido sobre el capital de la empresa y el costo de su deuda. Éstos se ponderan de acuerdo con la cantidad de capital y de deuda que tiene la empresa. La fórmula para el *WACC* es

$$WACC = \frac{E}{D+E}(R_f + \beta \times MRP) + \frac{D}{D+E} R_b(1-t)$$

donde

E = monto del capital
D = monto de la deuda
R_f = tasa de rentabilidad libre de riesgo (que suele tener el valor de un dígito medio)
β = beta de la empresa

[1] Vea Brealey y Myers (2000).

MRP = prima de riesgo del mercado (que suele tener el valor de un dígito alto)
R_b = tasa a la que la empresa puede pedir prestado dinero (de acuerdo con su calificación de deuda)
t = tasa de impuesto

El *WACC* se ajusta para el uso en un entorno antes de impuestos de la siguiente manera:

$$WACC \text{ antes de impuestos} = WACC \text{ después de impuestos}/(1 - t)$$

El *WACC* antes de impuestos es apropiado para una empresa que puede aumentar su negocio utilizando los fondos liberados por la reducción de inventarios porque los cálculos de inventario se realizan antes de impuestos. La mayoría de estos números pueden encontrarse en el informe anual de la empresa y en cualquier informe de análisis de capital de la compañía. La tasa de endeudamiento proviene de las tablas que enumeran las tasas aplicables a los bonos de compañías con las mismas calificaciones crediticias. La tasa libre de riesgo es la rentabilidad de los bonos del Tesoro de Estados Unidos, y la prima de riesgo del mercado es la rentabilidad del mercado sobre la tasa libre de riesgo. Si el acceso a la estructura financiera de la empresa no está disponible, puede hacerse una buena aproximación usando los números de empresas públicas en el mismo sector y de tamaño similar.

- ***Costo de obsolescencia (o deterioro):*** El costo de obsolescencia calcula la tasa a la que el valor del producto almacenado cae debido a que su valor de mercado o de calidad disminuye. Este costo puede variar drásticamente, desde tasas porcentuales de muchos miles hasta prácticamente cero, dependiendo del tipo de producto. Los productos perecederos tienen altas tasas de obsolescencia. Incluso los no perecederos pueden tener altas tasas de obsolescencia si tienen ciclos de vida cortos. Un producto con un ciclo de vida de seis meses tiene un costo de obsolescencia efectivo de 200%. En el otro extremo del espectro se encuentran productos como el petróleo crudo que toman un largo tiempo para llegar a ser obsoletos o echarse a perder. Para tales productos puede aplicarse una tasa de obsolescencia baja.
- ***Costo de manejo:*** Debe incluir únicamente los costos incrementales de recepción y almacenamiento que varían con la cantidad de producto recibido. Los costos de manejo independientes de la cantidad que varía con el número de pedidos, deben incluirse en el costo de pedido. Con frecuencia, el costo de manejo dependiente de la cantidad no cambia si la cantidad varía dentro de un rango. Si la cantidad está dentro de este intervalo (por ejemplo, el rango de inventario que una brigada de cuatro personas puede descargar por periodo), el costo de manejo incremental agregado al costo de almacenamiento es cero. Si la cantidad manejada requiere más personas se añade un costo incremental de manejo al costo de retención.
- ***Costo de ocupación:*** Este costo refleja el cambio gradual en el costo de espacio debido al cambio en el inventario de ciclo. Si la empresa incurre en un costo por el número real de unidades que mantiene en almacén, se tiene el costo directo de ocupación. Las empresas suelen arrendar o comprar una cantidad fija de espacio. Mientras un cambio marginal en inventario de ciclo no cambie los requisitos de espacio, el costo incremental de ocupación es cero. Con frecuencia, los costos de ocupación toman la forma de una función escalonada, con un aumento repentino en el costo cuando se usa toda la capacidad y debe adquirirse un nuevo espacio.
- ***Costos varios:*** El componente final del costo de retención está relacionado con una serie de costos relativamente pequeños. Estos incluyen el robo, la seguridad, los daños, los impuestos y los cargos adicionales de seguros. Una vez más, es importante estimar el cambio incremental en estos costos sobre el cambio del inventario de ciclo.

Costo de pedido

El costo de pedido incluye todos los costos incrementales asociados con la colocación o la recepción de un pedido adicional en los que se incurre independientemente del tamaño del pedido. Los componentes del costo de pedido incluyen los siguientes:

- ***Tiempo del comprador:*** Éste es el tiempo incremental en el que el comprador realiza el pedido extra. Este costo debe incluirse sólo si el comprador se utiliza en su totalidad. El costo incremental de obtener un comprador inactivo para realizar un pedido es cero y no agrega nada al costo de pedido. La realización electrónica de pedidos puede reducir significativamente el tiempo en que el comprador realiza un pedido.

- ***Costos de transporte:*** Con frecuencia se incurre en un costo de transporte fijo independientemente del tamaño del pedido. Por ejemplo, si se envía un camión a entregar cada pedido, cuesta lo mismo enviar un camión medio vacío que un camión completo. Los precios para cantidades menores a un camión también incluyen un componente fijo, que es independiente de la cantidad enviada, y un componente variable que aumenta con dicha cantidad. El componente fijo debe incluirse en el costo de pedido.
- ***Costos de recepción:*** Algunos costos de recepción se presentan independientemente del tamaño del pedido. Esto incluye cualquier trabajo de administración, como verificación de la orden de compra y cualquier esfuerzo asociado con la actualización de los registros de inventario. Los costos de recepción que son dependientes de la cantidad no deben incluirse aquí.
- ***Otros costos:*** Cada situación puede tener costos únicos que deben considerarse si se presentan en cada pedido, independientemente de la cantidad ordenada.

El costo de pedido se estima como la suma de todos sus costos componentes. Es importante que el costo de pedido incluya sólo el cambio incremental en el costo real para un pedido adicional. El costo de pedido suele ser una función escalonada que es cero cuando no se utiliza totalmente el recurso, pero toma un valor grande cuando éste se utiliza por completo. En ese punto, el costo de pedido es el costo de los recursos adicionales necesarios.

11.3 ECONOMÍAS DE ESCALA PARA EXPLOTAR LOS COSTOS FIJOS

Para entender mejor las ventajas y desventajas analizadas en esta sección, considere una situación que surge con frecuencia en la vida diaria: la compra de alimentos y otros productos del hogar. Éstos pueden comprarse en una tienda de conveniencia cercana o en Sam's Club (un gran almacén que vende bienes de consumo a los miembros del club), el cual suele encontrarse mucho más lejos. El costo fijo de ir de compras es el tiempo necesario para ir a uno u otro lugar. Este costo fijo es mucho menor para la tienda de conveniencia cercana. Sin embargo, los precios son más altos en la tienda local. Si se toma en cuenta el costo fijo, tendemos a adaptar la decisión del tamaño del lote como corresponda. Cuando necesitamos sólo una pequeña cantidad, acudimos a la tienda de conveniencia cercana, porque el beneficio de un costo fijo bajo supera al costo de los precios más altos de la tienda de conveniencia. Cuando vamos a comprar una gran cantidad, sin embargo, acudimos a Sam's Club, donde los precios más bajos por la mayor cantidad comprada compensa con creces el aumento en el costo fijo.

En esta sección nos enfocamos en la situación en la cual se incurre en un costo fijo asociado con la colocación, la recepción y el transporte de un pedido, cada vez que se coloca la orden. Un gerente de compras quiere minimizar el costo total por satisfacer la demanda y, por lo tanto, debe hacer los correspondientes trueques de costos al tomar la decisión del tamaño de lote. Empezamos por considerar la decisión del tamaño de lote para un solo producto.

Tamaño de lote para un solo producto (cantidad económica de pedido)

Mientras Best Buy vende su inventario actual de computadoras HP, el gerente de compras hace un pedido de reposición consistente en un nuevo lote de computadoras Q. Incluyendo el costo de transporte, Best Buy incurre en un costo fijo de \$$S$ por pedido. El gerente de compras debe decidir sobre el número de computadoras que debe pedir a HP en un lote. Para tomar esta decisión, suponemos las siguientes entradas:

D = Demanda anual del producto

S = Costo fijo por pedido

C = Costo por unidad

h = Costo de retención por año como una fracción del costo del producto

Suponga que HP no ofrece ningún descuento y que cada unidad cuesta \$$C$ sin importar lo grande que sea el pedido. El costo de retención está dado por $H = hC$ (aplicando la ecuación 11.2). El modelo se desarrolla utilizando los siguientes supuestos básicos:

1. La demanda se mantiene estable en D unidades por unidad de tiempo.
2. No se permiten faltantes; es decir, toda la demanda se debe satisfacer con las existencias.
3. El tiempo de espera de reabastecimiento es fijo (al inicio se supone que es cero).

El gerente de compras toma la decisión del tamaño de lote para minimizar el costo total en el que incurre la tienda. Al decidir el tamaño del lote debe tener en cuenta tres costos:

- El costo de material anual
- El costo de pedido anual
- El costo de retención anual

Como el precio de compra es independiente del tamaño del lote, tenemos

$$\text{Costo de material anual} = CD$$

El número de pedidos debe ser suficiente para satisfacer la demanda anual de D. Dado un tamaño de lote Q, entonces

$$\text{Número de pedidos por año} = \frac{D}{Q} \qquad \textbf{(11.3)}$$

Dado que se incurre en un costo de pedido S por cada orden realizada, deducimos que

$$\text{Costo de pedido anual} = \left(\frac{D}{Q}\right)S \qquad \textbf{(11.4)}$$

Dado un tamaño de lote Q, tenemos un inventario promedio de $Q/2$. Entonces, el costo de retención anual es el costo de mantener $Q/2$ unidades en inventario durante un año y se da como

$$\text{Costo de retención anual} = \left(\frac{Q}{2}\right)H = \left(\frac{Q}{2}\right)hC$$

El costo total anual, CT, es la suma de los tres costos y se obtiene como

$$\text{Costo total anual, } CT = CD + \left(\frac{D}{Q}\right)S + \left(\frac{Q}{2}\right)hC$$

La figura 11-2 muestra la variación de los diferentes costos a medida que cambia el tamaño del lote. Observe que el costo de retención anual aumenta si se incrementa el tamaño del lote. En contraste, el costo de pedido anual disminuye si se da un aumento en el tamaño del lote. El costo de material es independiente del tamaño del lote porque hemos supuesto que el precio es fijo. Así, el costo total anual primero disminuye y después aumenta con el incremento en el tamaño del lote.

Desde el punto de vista del gerente de Best Buy, el tamaño del lote óptimo es aquel que minimiza el costo total de su compañía, y el cual se obtiene tomando la primera derivada del costo total con respecto a Q e igualándola a 0 (vea el Apéndice 11A, al final de este capítulo). El tamaño del lote óptimo se conoce

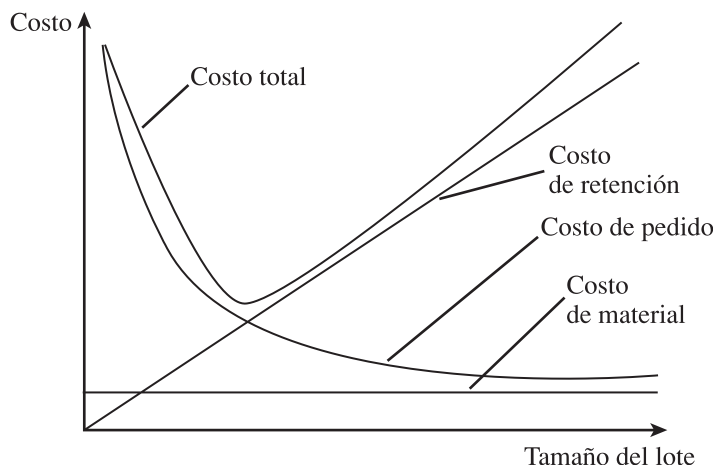


FIGURA 11-2 Efecto del tamaño del lote en los costos de Best Buy.

como la *cantidad económica de pedido* (*EOQ, Economic Order Quantity*). Se indica por Q^* y está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Tamaño del lote óptimo, } Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{hC}} \quad \textbf{(11.5)}$$

Tenga en cuenta que para esta fórmula es importante utilizar las mismas unidades de tiempo para el costo de retención h y la demanda D. Con cada lote o pedido de tamaño Q^*, el inventario de ciclo en el sistema está dado por $Q^*/2$. El tiempo de flujo que pasa cada unidad en el sistema está dado por $Q^*/(2D)$. A medida que aumenta el tamaño de lote óptimo, también lo hace el inventario de ciclo y el tiempo de flujo. La frecuencia óptima de pedido está dada por n^*, donde

$$n^* = \frac{D}{Q^*} = \sqrt{\frac{DhC}{2S}} \quad \textbf{(11.6)}$$

En el ejemplo 11-1, se ilustra la fórmula de la EOQ y el procedimiento para tomar decisiones sobre el tamaño de lote.

EJEMPLO 11-1 Cantidad económica de pedido

La demanda de la computadora Deskpro en Best Buy es de 1,000 unidades por mes. Best Buy incurre en un costo fijo por la colocación del pedido, el transporte y la recepción de 4,000 dólares cada vez que se coloca el pedido. El precio de cada computadora en Best Buy es de \$500 y el minorista tiene un costo de retención de 20%. Evalúe el número de computadoras que debe ordenar el gerente de la tienda en cada lote de reabastecimiento.

Análisis:

En este caso el gerente de la tienda tiene las siguientes entradas:

La demanda anual, $D = 1{,}000 \times 12 = 12{,}000$ unidades

Costo de pedido por cada lote, $S = \$4{,}000$

Costo unitario por computadora, $C = \$500$

Costo de retención por año como proporción del costo unitario, $h = 0.2$

Si se usa la fórmula EOQ (ecuación 11.5), el tamaño de lote óptimo es

$$\text{Tamaño de pedido óptimo} = Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 12{,}000 \times 4{,}000}{0.2 \times 500}} = 980$$

Para minimizar el costo total en Best Buy, el gerente de la tienda ordena un tamaño de lote de 980 computadoras para cada orden de reabastecimiento. El inventario de ciclo es el inventario promedio resultante y (aplicando la ecuación 11.1) está dado por

$$\text{Inventario de ciclo} = \frac{Q^*}{2} = \frac{980}{2} = 490$$

Para un tamaño de lote $Q^* = 980$, el gerente de la tienda evalúa

$$\text{Número de pedidos por año} = \frac{D}{Q^*} = \frac{12{,}000}{980} = 12.24$$

$$\text{Costo de pedido y retención anual} = \frac{D}{Q^*}S + \left(\frac{Q^*}{2}\right)hC = 97{,}980$$

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{Q^*}{2D} = \frac{490}{12{,}000} = 0.041 \text{ años} = 0.49 \text{ meses}$$

Por lo tanto, cada computadora pasa en promedio 0.49 meses en Best Buy antes de su venta, dado que fue adquirida en un lote de 980.

Del ejemplo 11-1 pueden obtenerse algunas ideas clave. Con un tamaño de lote de 1,100 (en vez de 980) los costos anuales aumentan a $98,636 (a partir de $97.980). A pesar de que el tamaño del pedido es más de 10% superior al tamaño óptimo de pedido Q^*, el costo total aumenta sólo 0.67%. Este problema puede ser relevante en la práctica. Best Buy puede encontrar que la cantidad económica de pedido de CDs es de 6.5 cajas. El fabricante puede mostrarse reacio a enviar la mitad de una caja y puede tratar de hacer un cargo extra por este servicio. El análisis anterior muestra que Best Buy puede optar por tamaños de lote de seis o siete cajas, puesto que este cambio tiene un pequeño impacto en los costos relacionados con el inventario, pero puede ahorrar un nuevo cargo realizado por el fabricante debido al envío de la mitad de una caja.

Punto clave

Los costos totales de pedido y retención son relativamente estables alrededor de la cantidad económica de pedido. Una empresa suele tener un mejor desempeño al pedir un tamaño de lote conveniente cerca de la cantidad económica de pedido en lugar de la EOQ precisa.

Si la demanda en Best Buy aumenta a 4,000 computadoras al mes (la demanda se ha incrementado en un factor de 4), la fórmula de la EOQ muestra que el tamaño de lote óptimo se duplica al igual que el número de pedidos realizados al año. En contraste, el tiempo de flujo promedio disminuye en un factor de 2. En otras palabras, a medida que aumenta la demanda, el inventario de ciclo medido en términos de días (o meses) de demanda debe reducirse mucho si la decisión de dimensionamiento se realiza de manera óptima. Esta observación puede establecerse como el siguiente punto clave:

Punto clave

Si la demanda aumenta en un factor de k, el tamaño de lote óptimo aumenta por un factor de $\sqrt{k}$. El número de pedidos por año también debe aumentar en un factor de $\sqrt{k}$. El tiempo de flujo atribuido al inventario de ciclo debería disminuir en un factor de $\sqrt{k}$.

Volvamos a la situación en la que la demanda mensual para el modelo Deskpro es de 1,000 computadoras. Suponga ahora que el gerente desearía reducir el tamaño del lote a $Q = 200$ unidades para acortar el tiempo de flujo. Si se reduce el tamaño del lote sin introducir ningún otro cambio, se tiene

$$\text{Costos anuales relacionados con el inventario} = \left(\frac{D}{Q}\right)S + \left(\frac{Q}{2}\right)hC = 250{,}000$$

Esto es significativamente mayor que el costo total de $97,980 en que incurre Best Buy si hace pedidos en lotes de 980 unidades como en el ejemplo 11-1. Por lo tanto, hay razones financieras claras por las que el gerente de la tienda no estaría dispuesto a reducir el tamaño del lote a 200. Para que la reducción del tamaño de lote sea factible, el gerente debe trabajar en reducir el costo fijo de pedido. Si el costo fijo asociado a cada lote se reduce a $1,000 (a partir del valor actual de $4,000), el tamaño del lote óptimo se reduce a 490 (comparado con el actual de 980). Ilustramos con el ejemplo 11-2 la relación entre el tamaño del lote deseado y el costo de pedido.

EJEMPLO 11-2 Relación entre el tamaño del lote deseado y el costo de pedido

Al gerente de la tienda Best Buy le gustaría reducir el tamaño de lote óptimo de 980 a 200. Para obtener esta reducción del tamaño de lote óptimo, el gerente de la tienda quiere evaluar hasta qué punto debe reducirse el costo de pedido por cada lote.

Análisis:

En este caso tenemos

Tamaño de lote deseado, $Q^* = 200$.

Demanda anual, $D = 1{,}000 \times 12 = 12{,}000$ unidades.

Costo unitario por computadora, $C = \$500$.

Costo de retención por año como una fracción del valor del inventario, $h = 0.2$.

Si se usa la fórmula de la EOQ (ecuación 11.5), el costo de pedido deseado es

$$S = \frac{hC(Q^*)^2}{2D} = \frac{0.2 \times 500 \times 200^2}{2 \times 12{,}000} = 166.7$$

Así, el gerente de la tienda en Best Buy tendría que reducir el costo de pedido por lote de \$4,000 a \$166.7 para que el tamaño de lote óptimo fuera de 200.

La observación en el ejemplo 11-2 puede establecerse como el punto clave siguiente:

Punto clave

Para disminuir el tamaño de lote óptimo en un factor de k, el costo de pedido fijo S debe reducirse en un factor de k^2.

Tamaño del lote de producción

En la fórmula EOQ hemos supuesto implícitamente que todo el lote llega al mismo tiempo. Aunque éste puede ser un supuesto razonable para un minorista que recibe un lote de reabastecimiento, no es razonable en un entorno productivo en el que la producción se efectúa a una velocidad especificada, por ejemplo, P. Entonces, en un entorno de producción, el inventario se acumula a una tasa de $P - D$ cuando la producción está en marcha, y el inventario se agota a un ritmo de producción D cuando la producción está suspendida.

Con D, h, C y S como se definieron anteriormente, la fórmula EOQ puede modificarse para obtener la cantidad de producción económica (EPQ) como sigue:

$$Q^P = \sqrt{\frac{2DS}{(1 - D/P)hC}}$$

El costo anual de preparación está dado en este caso por

$$\left(\frac{D}{Q^P}\right)S$$

El costo anual de retención está dado por

$$(1 - D/P)\left(\frac{Q^P}{2}\right)hC$$

Observe que la cantidad económica de producción es la EOQ multiplicada por un factor de corrección que se aproxima a 1 a medida que la tasa de producción se vuelve mucho más rápida que la demanda.

Para el resto de este capítulo restringiremos la atención al caso en el que todo el lote de reabastecimiento llega al mismo tiempo, un escenario que se aplica en la mayoría de las configuraciones de la cadena de suministro.

Agregación de varios productos en un solo pedido

Como ya lo analizamos anteriormente, la clave para reducir el tamaño del lote es la reducción de los costos fijos por lote. Una fuente importante de costos fijos es el transporte. En varias empresas la variedad de productos que se comercializan se dividen en familias o grupos, donde cada grupo es administrado de forma independiente por un gerente de producto particular. Esto se traduce en órdenes separadas y entregas para cada familia de productos, aumentando así el inventario de ciclo global. La agregación de pedidos y entregas a través de familias de productos es un mecanismo eficaz para reducir los inventarios de ciclo. La idea de agregar envíos se ilustra mediante el siguiente ejemplo.

Considere los datos del ejemplo 11-1. Suponga que Best Buy compra cuatro modelos de computadora y la demanda de cada uno de los cuatro modelos es de 1,000 unidades por mes. En este caso, si cada uno de

los gerentes de producto ordena por separado, se pediría un tamaño de lote de 980 unidades. Por lo tanto, el inventario de ciclo total considerando los cuatro modelos sería de $4 \times 980/2 = 1{,}960$ unidades.

Considere ahora el caso en el cual el gerente de la tienda de Best Buy se da cuenta de que los envíos de los cuatro modelos se originan en la misma fuente. Pide a los gerentes de producto coordinar sus compras para garantizar que los cuatro productos lleguen en el mismo camión. En este caso, el tamaño óptimo de lote de la mezcla con los cuatro modelos resulta ser de 1,960 unidades (use $S = \$4{,}000$, $D = 4 \times 12{,}000 = 48{,}000$, $hC = \$500 \times 0.2 = \$10$ en la ecuación 11.5). Esto equivale a 490 unidades de cada modelo. Como resultado de la agregación de pedidos y la distribución del costo de transporte fijo a través de múltiples productos que se originan en el mismo proveedor, la opción de reducir el tamaño de lote de cada producto individual se vuelve económicamente óptima para el gerente de la tienda Best Buy. Esta acción reduce significativamente el inventario de ciclo, así como el costo de Best Buy.

Otra forma de alcanzar este resultado es tener una sola entrega procedente de múltiples proveedores (lo que permite que el costo de transporte fijo se distribuya entre múltiples proveedores) o tener un solo camión para la entrega de múltiples minoristas (lo que permite que el costo de transporte fijo se distribuya entre varios minoristas). Las empresas que importan productos a Estados Unidos desde Asia han trabajado duro para agregar los envíos que reciben de distintos proveedores (a menudo mediante la creación de centros de operaciones en Asia, donde todos los proveedores hacen sus entregas), facilitándoles así mantener economías de escala en el transporte al obtener entregas más pequeñas y más frecuentes de cada proveedor. Los beneficios de la agregación pueden resumirse en el punto clave siguiente:

Punto clave

La agregación de reabastecimientos mediante varios productos, minoristas o proveedores en un solo pedido permite una reducción en el tamaño del lote de los productos individuales, puesto que los costos fijos de pedido y transporte se reparten entre varios productos, minoristas o proveedores.

Walmart y otros minoristas como Seven-Eleven Japan han facilitado la agregación a través de múltiples puntos de suministro y entrega sin almacenar inventarios intermedios, utilizando el *cross-docking* (*reparto directo*). Cada proveedor envía cargas completas al centro de distribución (CD), donde cada una contiene entregas agregadas destinadas a varias tiendas minoristas. En el CD se descarga cada camión entrante, el producto entra al proceso de reparto directo y se cargan los camiones salientes. Cada camión contiene ahora producto saliente agregado de varios proveedores con destino a una tienda minorista.

Al considerar los costos fijos, no puede hacerse caso omiso de los costos de recepción o carga. A medida que se incluyen más productos en un solo pedido, la variedad de productos aumenta en los camiones. Ahora, el almacén que recibe tiene que actualizar los registros de inventario para más artículos por camión; además, la tarea de poner inventario en el almacén se vuelve más cara, puesto que cada artículo distinto debe almacenarse en un lugar separado. Por lo tanto, cuando se trata de reducir los tamaños de lote, es importante centrarse en la reducción de estos costos. Los avisos de envío por adelantado (*ASN, Advanced Shipping Notices*) son archivos que contienen registros precisos de los contenidos de cada camión, los cuales se envían electrónicamente del proveedor al cliente. Estas notificaciones electrónicas facilitan la actualización de los inventarios, así como la decisión sobre la ubicación de almacenamiento, lo que ayuda a reducir el costo fijo de recepción. Es probable que la tecnología RFID también ayude a reducir los costos fijos asociados con la recepción de una gran variedad de productos. El costo fijo de recepción reducido hace óptima la reducción del tamaño del lote ordenado, lo que a su vez reduce el inventario de ciclo.

A continuación analizamos la forma de determinar el tamaño óptimo de los lotes cuando existen costos fijos asociados a cada lote, así como cuando hay variedad dentro del lote.

Tamaño del lote con varios productos o clientes

En general, los costos de pedido, transporte, y recepción de una orden crecen junto con la variedad de productos o puntos de recolección. Por ejemplo, para Walmart es más barato recibir un camión que contiene un solo producto que un camión que contiene muchos productos diferentes, porque el esfuerzo de actualización del inventario y de surtir de nuevo es mucho menor para un solo producto. Una porción del costo fijo de

un pedido se relaciona con el transporte (ésta depende sólo de la carga y es independiente de la variedad de productos en el camión). Otra parte del costo fijo está relacionada con la carga y la recepción (este costo aumenta con la variedad en el camión). A continuación analizamos cómo pueden determinarse los tamaños óptimos de lote en tal situación.

Nuestro objetivo es llegar a tamaños de lote y a una política de pedidos que minimicen el costo total. Supongamos las siguientes entradas:

D_i: Demanda anual del producto *i*.

S: Costo de pedido en el que se incurre cada vez que se coloca una orden, independientemente de la variedad de productos incluidos en ésta.

s_i: Costo de pedido adicional en el que se incurre si el producto *i* está incluido en la orden.

En el caso de Best Buy y sus múltiples modelos, el gerente de la tienda puede considerar tres métodos para tomar la decisión del tamaño de lote:

1. Cada gerente de producto ordena su modelo de manera independiente.
2. Los gerentes de producto ordenan conjuntamente cada producto en cada lote.
3. Los gerentes de producto ordenan conjuntamente, pero no todas las órdenes contienen todos los productos; es decir, cada lote contiene un subconjunto seleccionado de productos.

El primer método no utiliza ningún tipo de agregación y resulta en un alto costo. El segundo método agrega todos los productos en cada pedido; su debilidad es que agrega productos de baja demanda junto con productos de alta demanda en todas las órdenes. Esta agregación completa resulta en altos costos si el costo de pedido de un producto específico con baja demanda es grande. En tal situación puede ser mejor pedir los productos de baja demanda con menos frecuencia que los productos de alta demanda. Esta práctica da lugar a una reducción del costo de pedido específico de un producto con baja demanda. En consecuencia, es probable que el tercer método produzca el menor costo. Sin embargo, su coordinación resulta más compleja.

A continuación consideramos el ejemplo de la compra de computadoras en Best Buyy, y se ilustra el efecto de cada uno de los tres métodos de costos en la cadena de suministro.

ORDEN Y ENTREGA DE LOTES EN FORMA INDEPENDIENTE PARA CADA PRODUCTO En este método cada producto se ordena independientemente de los otros. Este escenario es equivalente a aplicar la fórmula de la EOQ para cada producto al evaluar los tamaños de lote, como se ilustra en el ejemplo 11-3.

EJEMPLO 11-3 Productos múltiples con lotes pedidos y entregados de manera independiente

Best Buy vende tres modelos de computadoras, LitePro, MedPro, y Heavypro. Las demandas anuales de los tres productos son $D_L = 12{,}000$ para LitePro, $D_M = 1{,}200$ unidades para MedPro, y $D_H = 120$ unidades para Heavypro. Cada modelo le cuesta \$500 a Best Buy. Se incurre en un costo de transporte fijo de \$4,000 cada vez que se entrega un pedido. Para cada modelo solicitado y entregado en el mismo camión se tiene un costo adicional fijo de \$1,000 por recepción y almacenamiento. Best Buy incurre en un costo de retención de 20%. Evalúe los tamaños de lote que el gerente de Best Buy debe ordenar, si los lotes para cada producto se ordenan y entregan de manera independiente. También evalúe el costo anual de esta política.

Análisis:

En este ejemplo contamos con la siguiente información:

Demanda, $D_L = 12{,}000$/año, $D_M = 1{,}200$/año, $D_H = 120$/año

Costo de pedido común, $S = \$4{,}000$

Costo de pedido específico por producto, $s_L = \$1{,}000$, $s_M = \$1{,}000$, $s_H = \$1{,}000$

Costo de retención, $h = 0.2$

Costo unitario, $C_L = \$500$, $C_M = \$500$, $C_H = \$500$

Tabla 11-1 Tamaños de lote y costos para pedidos independientes

	Litepro	Medpro	Heavypro
Demanda por año	12,000	1,200	120
Costo fijo/pedido	$5,000	$5,000	$5,000
Tamaño óptimo de pedido	1,095	346	110
Inventario de ciclo	548	173	55
Costo de retención anual	$54,772	$17,321	$5,477
Frecuencia de pedido	11.0/año	3.5/año	1.1/año
Costo de pedido anual	$54,772	$17,321	$5,477
Tiempo de flujo promedio	2.4 semanas	7.5 semanas	23.7 semanas
Costo anual	$109,544	$34,642	$10,954

Nota: Aunque estas cifras son correctas, algunas pueden diferir de los cálculos debido al redondeo.

Como cada modelo se ordena y entrega de forma independiente, un camión particular entrega cada modelo. Por lo tanto, se incurre en un costo de pedido fijo de $5,000 ($4,000 + $1,000) por cada entrega de producto. Las políticas óptimas de pedido y los costos resultantes para los tres productos (cuando éstos se ordenan en forma independiente), se evalúan utilizando la fórmula de la EOQ (ecuación 11.5) y se presentan en la tabla 11-1.

El modelo LitePro se ordena 11 veces al año, el modelo MedPro se pide 3.5 veces al año, y el modelo Heavypro se ordena 1.1 veces cada año. El costo anual de pedido y retención en el que incurre Best Buy, si los tres modelos se ordenan de manera independiente, resulta ser de $155,140.

Los pedidos independientes son fáciles de ejecutar, pero no toman en cuenta la oportunidad de realizar pedidos globales. Así, los gerentes de producto en Best Buy podrían reducir potencialmente los costos al combinar pedidos en un solo camión. A continuación consideramos el escenario en que se ordenan y entregan los tres productos cada vez que se realiza un pedido.

ORDEN Y ENTREGA DE LOTES EN FORMA CONJUNTA PARA LOS TRES MODELOS Aquí, cada vez que se realiza un pedido, se incluyen los tres modelos. En este caso, el costo de pedido fijo combinado está dado por

$$S^* = S + s_L + s_M + s_H$$

El siguiente paso es identificar la frecuencia óptima de pedido. Sea n el número de pedidos realizados al año. Entonces tenemos

$$\text{Costo de pedido anual} = S^* n$$

$$\text{Costo de retención anual} = \frac{D_L h C_L}{2n} + \frac{D_M h C_M}{2n} + \frac{D_H h C_H}{2n}$$

Así, el costo total anual está dado por

$$\text{Costo total anual} = \frac{D_L h C_L}{2n} + \frac{D_M h C_M}{2n} + \frac{D_H h C_H}{2n} + S^* n$$

La frecuencia de pedido óptima minimiza el costo total anual y se obtiene tomando la primera derivada del costo total con respecto a n e igualándola a 0. Esto resulta en la frecuencia de pedido óptima n^*, donde

$$n^* = \sqrt{\frac{D_L h C_L + D_M h C_M + D_H h C_H}{2S^*}} \quad \textbf{(11.7)}$$

La ecuación 11.7 puede generalizarse para el caso en el que hay k artículos consolidados en una sola orden, de la manera siguiente:

$$n^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} D_i h C_i}{2S^*}} \quad \textbf{(11.8)}$$

La capacidad del camión también puede incluirse en esta configuración al comparar la carga total para la n^* óptima con la capacidad del camión. Si la carga óptima excede la capacidad del camión, n^* se aumenta hasta que la carga sea igual a la capacidad del camión. Al aplicar la ecuación 11.8 para diferentes valores de k, también es posible encontrar el número óptimo de artículos o proveedores que pueden agregarse en una sola entrega.

En el ejemplo 11-4 consideramos el caso en el cual los gerentes de producto en Best Buy ordenan los tres modelos cada vez que realizan un pedido.

EJEMPLO 11-4 Productos pedidos y entregados conjuntamente

Considere los datos de Best Buy en el ejemplo 11-3. Los tres gerentes de producto han decidido agregar y ordenar los tres modelos cada vez que realizan un pedido. Evalúe el tamaño de lote óptimo para cada modelo.

Análisis:

Dado que en cada pedido se incluyen los tres modelos, el costo de pedido combinado es

$$S^* = S + s_L + s_M + s_H = \$7{,}000 \text{ por pedido}$$

La frecuencia óptima de pedido se obtiene utilizando la ecuación 11.7 y está dada por

$$n^* = \sqrt{\frac{12{,}000 \times 100 + 1{,}200 \times 100 + 120 \times 100}{2 \times 7{,}000}} = 9.75$$

Por lo tanto, si todos los modelos deben incluirse en cada pedido y entrega, los gerentes de producto en Best Buy deben colocar 9.75 órdenes por año. En este caso, las políticas de pedido y los costos se muestran en la tabla 11-2.

Como cada año se realizan 9.75 pedidos y cada orden tiene un costo total de $7,000, tenemos

$$\text{Costo de pedido anual} = 9.75 \times 7{,}000 = \$68{,}250$$

El costo de pedido y retención anual, para los tres tamaños de la política mencionada, está dado por

$$\text{Costo de pedidos y retención anual} = \$61{,}512 + \$6{,}151 + \$615 + \$68{,}250 = \$136{,}528$$

Observe que los gerentes de producto en Best Buy reducen el costo anual de $155,140 a $136,528 por pedir todos los productos de manera conjunta. Esto representa una disminución de aproximadamente 12%.

Tabla 11-2 Tamaños de lote y costos para pedidos conjuntos en Best Buy

	Litepro	Medpro	Heavypro
Demanda anual (D)	12,000	1,200	120
Frecuencia de pedido (n^*)	9.75/año	9.75/año	9.75/año
Tamaño de pedido óptimo (D/n^*)	1,230	123	12.3
Inventario de ciclo	615	61.5	6.15
Costo de retención anual	$61,512	$6,151	$615
Tiempo de flujo promedio	2.67 semanas	2.67 semanas	2.67 semanas

En el ejemplo 11-5 consideramos la agregación óptima de pedidos o entregas con restricciones de capacidad.

EJEMPLO 11-5 Agregación con restricción de capacidad

W.W. Grainger tiene cientos de proveedores y está considerando la agregación de envíos entrantes para reducir costos. El envío de una carga cuesta $500 por camión y $100 por pedido levantado. La demanda promedio anual de cada proveedor es de 10,000 unidades. Cada unidad cuesta $50 y Grainger incurre en un costo de retención de 20%. ¿Cuál es la frecuencia de pedido y el tamaño de orden óptimos de Grainger si decide agregar cuatro proveedores por camión? ¿Cuál es el tamaño y la frecuencia de pedido óptimos si cada camión tiene una capacidad de 2,500 unidades?

Análisis:

En este caso, W.W. Grainger tiene las siguientes entradas:

Demanda por producto, $D_i = 10{,}000$

Costo de retención, $h = 0.2$

Costo unitario por producto, $C_i = \$50$

Costo de pedido común, $S = \$500$

Costo de pedido específico del proveedor, $s_i = \$100$

El costo de pedido combinado de los cuatro proveedores está dado por

$$S^* = S + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = \$900 \text{ por orden}$$

A partir de la ecuación 11.8, la frecuencia de pedido óptima es

$$n^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{4} D_i h C_i}{2S^*}} = \sqrt{\frac{4 \times 10{,}000 \times 0.2 \times 50}{2 \times 900}} = 14.91$$

Así, para Grainger resulta óptimo ordenar 14.91 veces al año. El costo de pedido anual por proveedor es

$$\text{Costo de pedido anual} = 14.91 \times \frac{900}{4} = \$3{,}354$$

La cantidad pedida por cada proveedor es $Q = 10{,}000/14.91 = 671$ unidades por pedido. El costo de retención anual por proveedor es

$$\text{Costo de retención anual por proveedor} = \frac{hC_iQ}{2} = 0.2 \times 50 \times \frac{671}{2} = \$3{,}355$$

Sin embargo, esta política requiere una capacidad total por camión de $4 \times 671 = 2{,}684$ unidades. Dada una capacidad de 2,500 unidades por camión, la frecuencia de pedido se debe incrementar para garantizar que la cantidad pedida a cada proveedor sea de $2{,}500/4 = 625$. Así, W.W. Grainger debería aumentar la frecuencia hasta $10{,}000/625 = 16$. Esta acción aumentará el costo de pedido anual por proveedor a $3,600 y disminuirá el costo de retención anual por proveedor a $ 3,125.

La principal ventaja de ordenar todos los productos conjuntamente es que resulta fácil de administrar y aplicar. La desventaja consiste en que la técnica no es lo bastante selectiva en la combinación de modelos particulares que se deben ordenar en conjunto. Si los costos de pedido específicos para ciertos productos son altos y sus ventas varían considerablemente, es posible reducir los costos al seleccionar de manera efectiva los productos que se agregan en una orden conjunta.

A continuación consideramos una política según la cual los gerentes de producto no necesariamente ordenan todos los modelos cada vez que se coloca una orden, pero siguen coordinando sus pedidos.

ORDEN Y ENTREGA DE LOTES DE FORMA AGREGADA PARA UN SUBCONJUNTO SELECCIONADO DE LOS PRODUCTOS Primeramente ilustramos cómo ser selectivo para la agregación de órdenes en un solo pedido puede reducir costos. Considere el ejemplo 11-4 en el que el gerente decide agregar los tres modelos de computadora en todas las órdenes. La política óptima del ejemplo 11-4 es ordenar 9.75 veces al año. La desventaja de esta política es que el Heavypro, con una demanda anual de sólo 120 unidades, también se ordena 9.75 veces. Dado que se incurre en un costo específico del modelo de 1,000 dólares con cada pedido, estamos añadiendo esencialmente 1,000/(120/9.75) = \$81.25 al costo de pedido de cada Heavypro. Si tuviéramos que incluir la Heavypro en cada cuarto pedido (en vez de en todos), nos ahorraríamos 9,750 × (3/4) = \$7,312.5 por costo de pedido específico del producto (se ahorran 3 de 4 pedidos específicos de producto) mientras que se incurre en un costo adicional de 500 × 0.2 × ((120/9.75)/2) × 3 = \$3,692.3 por costo de retención (debido a que el tamaño de lote de Heavypro aumentaría de 120/9.75 a (120 × 4)/9.75). Una política así disminuiría el costo relativo anual de la agregación completa por más de \$3,600. Este ejemplo indica el valor de ser más selectivo al agregar pedidos.

Ahora analizamos un procedimiento que es más selectivo en la combinación de productos ordenados en forma conjunta. El procedimiento no proporciona necesariamente la solución óptima. Sin embargo, sí genera una política de pedidos cuyo costo se aproxima al óptimo. El método del procedimiento es identificar primero el producto "más frecuentemente" solicitado que se incluye en cada pedido. Entonces el costo fijo básico S se asigna íntegramente a este producto. Para cada uno de los productos i solicitados "menos frecuentemente", la frecuencia de pedido se determina utilizando sólo el costo de pedido específico del producto s_i. Las frecuencias se ajustan entonces de manera que cada producto i está incluido en cada una de las m_i órdenes, donde m_i es un número entero. A continuación detallamos el procedimiento utilizado.

Primero describimos el procedimiento en general y después lo aplicamos a un ejemplo específico. Suponga que los productos están indexados por i, donde i varía de 1 a l (suponiendo un total de l productos). Cada producto i tiene una demanda anual D_i, un costo unitario C_i, y un costo de pedido específico del producto s_i. El costo de pedido común es S.

Paso 1: Identifique el producto más frecuentemente ordenado, suponiendo que cada producto se pide de forma independiente. En este caso se asigna un costo fijo de $S + s_i$ a cada producto. Evalúe la frecuencia de pedido para cada producto i (siguiendo la ecuación 11.6):

$$\overline{n_i} = \sqrt{\frac{hC_iD_i}{2(S + s_i)}}$$

Ésta es la frecuencia con la que se pediría el producto i si fuera el único producto que se ha de ordenar (en cuyo caso se incurriría en un costo fijo de $S + s_i$ por orden). Sea $\overline{n}$ la frecuencia del producto con más frecuentemente ordenado i^*; es decir, $\overline{n}$ es el máximo entre todas las $\overline{n_i}$ $(\overline{n} = \overline{n_{i^*}} = \max\{\overline{n_i}, i = 1, \ldots, l\})$. El producto más frecuentemente ordenado es i^* incluido cada vez que se realiza un pedido.

Paso 2: Para todos los productos $i \neq i^*$, evalúe la frecuencia de pedido:

$$\overline{\overline{n_i}} = \sqrt{\frac{hC_iD_i}{2s_i}}$$

$\overline{\overline{n_i}}$ representa la frecuencia de pedido deseada si el producto i incurre en el costo fijo específico del producto s_i sólo cada vez que éste se ordena.

Paso 3: Nuestro objetivo es incluir cada producto i ≠ i^* con el producto más frecuentemente ordenado i^* después de un número entero de pedidos. Para todo $i \neq i^*$, evalúe la frecuencia del producto i en relación con el producto más frecuentemente ordenado i^* como m_i, donde

$$m_i = \left\lceil \overline{n}/\overline{\overline{n_i}} \right\rceil$$

En este caso, $\lceil\ \rceil$ es la operación que redondea una fracción hasta el número entero mayor más cercano. El producto i se incluirá con el producto más frecuentemente ordenado i^* cada m_i pedidos. Dado que el producto más frecuentemente ordenado i^* se incluye en todas las órdenes, $m_{i^*} = 1$.

Paso 4: Después de haber decidido la frecuencia de pedido para cada producto i, vuelva a calcular la frecuencia de pedido del producto más frecuentemente pedido i^* como n, donde

$$n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{l} hC_i m_i D_i}{2\left(S + \sum_{i=1}^{l} s_i / m_i\right)}} \tag{11.9}$$

Observe que n es una mejor frecuencia de pedido para el producto que se ordena con más frecuencia i^* que $\overline{n}$, porque toma en cuenta el hecho de que cada uno de los otros productos i se incluye con i^* cada m_i pedidos.

Paso 5: Para cada producto, evalúe una frecuencia de pedido de $n_i = n/m_i$ y el costo total de esta política pedidos. El costo total anual está dado por

$$TC = nS + \sum_{i=1}^{l} n_i s_i + \sum_{i=1}^{l} \left(\frac{D_i}{2n_i}\right) hC_i$$

El procedimiento descrito anteriormente resulta en una *agregación adaptada*, con los productos de mayor demanda ordenados con más frecuencia y los productos de menor demanda pedidos con menos frecuencia. El ejemplo 11-6 considera la agregación adaptada para la decisión de los pedidos de Best Buy del ejemplo 11-3.

EJEMPLO 11-6 Tamaños de lote pedidos y entregados en forma conjunta para un subconjunto seleccionado que varía según el pedido

Considere los datos de Best Buy en el ejemplo 11-3. Los gerentes de producto han decidido ordenar de manera conjunta, y ser selectivos en los modelos que incluirán en cada pedido. Evalúe la política de pedidos y costos utilizando el procedimiento descrito anteriormente.

Análisis:

Recuerde que $S = \$4{,}000$, $s_L = \$1{,}000$, $s_M = \$1{,}000$, $s_H = \$1{,}000$. Aplicando el paso 1, se obtiene

$$\overline{n_L} = \sqrt{\frac{hC_L D_L}{2(S + s_L)}} = 11.0, \quad \overline{n_M} = \sqrt{\frac{hC_M D_M}{2(S + s_M)}} = 3.5, \quad \overline{n_H} = \sqrt{\frac{hC_H D_H}{2(S + s_H)}} = 1.1$$

Resulta claro que LitePro es el modelo más pedido. Por lo tanto, se establece $\overline{n} = 11.0$.

Ahora aplicamos el paso 2 para evaluar la frecuencia con que MedPro y Heavypro se incluirán con LitePro en el pedido. Primero obtenemos

$$\overline{\overline{n_M}} = \sqrt{\frac{hC_M D_M}{2s_M}} = 7.7 \quad \text{y} \quad \overline{\overline{n_H}} = \sqrt{\frac{hC_H D_H}{2s_H}} = 2.4$$

Luego aplicamos el paso 3 para evaluar

$$m_M = \left\lceil \frac{\overline{n}}{\overline{\overline{n_M}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{11.0}{7.7} \right\rceil = 2 \quad \text{y} \quad m_H = \left\lceil \frac{\overline{n}}{\overline{\overline{n_H}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{11.0}{2.4} \right\rceil = 5$$

Por lo tanto, MedPro se incluye cada segunda orden y Heavypro cada quinto pedido (LitePro, el modelo más pedido, se incluye en cada orden). Ahora que hemos decidido la frecuencia de pedido de cada modelo, aplicamos el paso 4 (ecuación 11.9) para volver a calcular la frecuencia de pedido del modelo más pedido como

$$n = \sqrt{\frac{hC_L m_L D_L + hC_M m_M D_M + hC_H m_M D_H}{2(S + s_L/m_L + s_M/m_M + s_H/m_H)}} = 11.47$$

Tabla 11-3 Tamaños de lote y costos para la política de pedidos usando la heurística

	Litepro	Medpro	Heavypro
Demanda anual (*D*)	12,000	1,200	120
Frecuencia de pedido (*n*)	11.47/año	5.74/año	2.29/año
Tamaño de pedido (*D*/*n*)	1,046	209	52
Inventario de ciclo	523	104.5	26
Costo de retención anual	$52,307	$10,461	$2,615
Tiempo de flujo promedio	2.27 semanas	4.53 semanas	11.35 semanas

Por lo tanto, la Litepro se ordena 11.47 veces por año. A continuación se aplica el paso 5 para obtener una frecuencia de pedido para cada producto:

$$n_L = 11.47/\text{año},\ n_M = 11.47/2 = 5.74/\text{año y } n_H = 11.47/5 = 2.29/\text{año}$$

En la tabla 11-3 se muestran las políticas de pedido y los costos resultantes para los tres productos.

El costo de retención anual con esta política es de $65,383.5. El costo de pedido anual está dado por

$$nS + n_L s_L + n_M s_M + n_H s_H = \$65{,}383.5$$

Así, el costo total anual es igual a $130,767. La agregación adaptada resulta en una reducción de costos de $5,761 (alrededor de 4%) en comparación con los pedidos conjuntos de todos los modelos. La reducción de costos ocurre porque el costo fijo de $1,000, específico de cada modelo, no se presenta en todos los pedidos.

A partir de los ejemplos de Best Buy, se deduce que la agregación puede proporcionar importantes ahorros de costos y reducir el inventario de ciclo en la cadena de suministro. Cuando los costos de pedido específicos del producto (s_i) son pequeños en relación con el costo fijo *S*, la agregación completa, donde todos los productos se incluyen en todos los pedidos, resulta muy eficaz. La agregación adaptada ofrece poco valor adicional en este contexto y la complejidad adicional que trae consigo no es conveniente. Si los ejemplos 11-3, 11-4 y 11-6 se repiten con s_i = $300, hallamos que la agregación adaptada sólo disminuye los costos en 1% respecto de la agregación completa, mientras que esta última disminuye los costos en más de 25% en relación con la no agregación. Sin embargo, a medida que los costos de pedido específicos del producto se incrementan, la agregación adaptada se hace más efectiva. En general, la agregación completa debe usarse cuando los costos de pedido específicos del producto sean pequeños, y la agregación adaptada cuando dichos costos sean grandes.

Hemos considerado los costos fijos de pedido y su impacto sobre el inventario y los costos en una cadena de suministro. Lo más importante de este análisis es que la clave para reducir el tamaño de los lotes se centra en la reducción de costos fijos asociados a cada lote ordenado. Estos costos y los procesos que los causan deben entenderse bien para que puedan realizarse las acciones apropiadas.

A continuación examinamos los tamaños de lote cuando el costo de material presenta economías de escala.

Punto clave

Una clave para reducir el inventario de ciclo es la reducción del tamaño del lote. Una clave para reducir el tamaño del lote sin incrementar los costos es la reducción de los costos fijos asociados a cada lote. Esto puede lograrse reduciendo el costo fijo en sí mismo o agregando lotes a través de múltiples productos, clientes o proveedores. Cuando se hace así, la agregación simple es eficaz si los costos de pedido específicos del producto son pequeños; en cambio, si los costos de pedido específicos del producto son grandes, se recomienda la agregación adaptada.

11.4 ECONOMÍAS DE ESCALA PARA APROVECHAR LOS DESCUENTOS POR CANTIDAD

Consideramos ahora los programas para fijar precios que estimulan a los clientes a comprar en grandes cantidades. Existen muchos casos en las transacciones de empresa a empresa en los cuales el programa de fijación de precios presenta economías de escala, donde los precios disminuyen a medida que aumenta el tamaño del lote. Un descuento está *basado en el tamaño del lote* si el programa de fijación de precios ofrece descuentos de acuerdo con la cantidad pedida en un solo lote. Pero está *basado en el volumen* si el descuento se define por la cantidad total comprada durante un periodo determinado, independientemente del número de lotes adquiridos durante ese periodo. En esta sección veremos que los descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote tienden a incrementar el tamaño del lote y el inventario de ciclo en una cadena de suministro. Hay dos esquemas de descuento basados en el tamaño del lote, los cuales se usan comúnmente, y son

- Descuento por cantidad en todas las unidades
- Descuento por cantidad en unidades marginales o tarifas multibloque

A fin de investigar el impacto de tales descuentos por cantidad en la cadena de suministro, debemos contestar las siguientes preguntas básicas:

1. Dado un programa de fijación de precios con descuentos por cantidad, ¿cuál es la decisión de compra óptima para un comprador que busca maximizar los beneficios? ¿Cómo afecta esta decisión a la cadena de suministro en términos del tamaño de los lotes, del inventario de ciclo y de los tiempos de flujo?
2. ¿En qué condiciones debe un proveedor ofrecer descuentos por cantidad? ¿Cuáles son los programas de fijación de precios apropiados que un proveedor debe ofrecer en busca de maximizar las ganancias?

Empezamos por estudiar la respuesta óptima de un minorista (el comprador) cuando se enfrenta a uno de los dos esquemas de descuento basados en el tamaño de lote que ofrece un fabricante (el proveedor). El objetivo del minorista es seleccionar tamaños de lote para minimizar los costos totales anuales de material, pedido y retención. Luego evaluamos el tamaño de lote óptimo en el caso de los descuentos por cantidad para todas las unidades.

Descuentos por cantidad para todas las unidades

En los descuentos por cantidad para todas las unidades, la lista de precios especificada contiene puntos de quiebre $q_0, q_1, \ldots, q_r$, donde $q_0 = 0$. Si un pedido es al menos tan grande como q_i pero más pequeño que q_{i+1}, cada unidad se obtiene a un costo de C_i. En general, el costo unitario disminuye a medida que aumenta la cantidad ordenada; es decir, $C_0 \geq C_1 \geq \ldots \geq C_r$. Para los descuentos aplicables a todas las unidades, el costo unitario promedio varía con la cantidad pedida, como se muestra en la figura 11-3. El objetivo del minorista es decidir sobre el tamaño de lote que maximice las ganancias o, de manera equivalente, que reduzca al mínimo los costos de material, pedido y retención. El procedimiento de solución evalúa el tamaño de lote óptimo para cada precio y se queda con el tamaño de lote que minimiza el costo total.

Paso 1: Evalúe el tamaño de lote óptimo para cada precio C_i, $0 \leq i \leq r$ de la siguiente manera:

$$Q_i = \sqrt{\frac{2DS}{hC_i}} \tag{11.10}$$

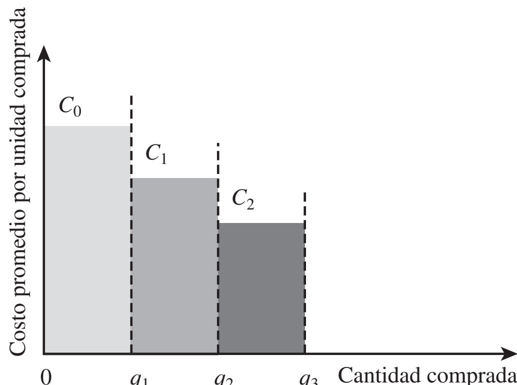


FIGURA 11-3 Costo unitario promedio con descuentos por cantidad para todas las unidades.

Paso 2: Seleccionamos la cantidad a ordenar Q_i^* para cada precio C_i. Hay tres casos posibles para Q_i:

1. $q_i \leq Q_i < q_{i+1}$
2. $Q_i < q_i$
3. $Q_i \geq q_{i+1}$

El caso 3 puede ignorarse para Q_i puesto que ya se considera para Q_{i+1}. Por lo tanto, necesitamos considerar únicamente los dos primeros casos. Si $q_i \leq Q_i < q_{i+1}$, entonces establezca $Q_i^* = Q_i$. Si $Q_i < q_i$, con lo que un tamaño de lote Q_i no resulta en un descuento. En este caso, establezca $Q_i^* = q_i$ para acceder al precio con descuento de C_i por unidad.

Paso 3: Para cada i calcule el costo total anual por ordenar Q_i^* unidades (esto incluye los costos de pedido, retención y material) de la siguiente manera:

$$\text{Costo total anual, } TC_i = \left(\frac{D}{Q_i^*}\right)S + \frac{Q_i^*}{2}hC_i + DC_i \qquad \textbf{(11.11)}$$

Paso 4: Seleccione la cantidad a ordenar Q_i^* con el costo total TC_i más bajo.

Goyal (1995) demostró que este procedimiento puede acortarse aún más mediante la identificación de un precio de corte C^*, por encima del cual la solución óptima no puede producirse. Recuerde que C_r es el costo unitario más bajo por encima de la cantidad umbral final q_r. El punto de corte se obtiene como sigue:

$$C^* = \frac{1}{D}\left(DC_r + \frac{DS}{q_r} + \frac{h}{2}q_rC_r - \sqrt{2hDSC_r}\right)$$

En el ejemplo 11-7, evaluamos el tamaño de lote óptimo dado un descuento por cantidad para todas las unidades.

EJEMPLO 11-7 Descuentos por cantidad para todas las unidades

Drugs Online (DO) es un minorista en línea de medicamentos con receta y complementos alimenticios. Las vitaminas representan un porcentaje significativo de sus ventas. La demanda de vitaminas es de 10,000 botellas por mes. DO incurre en un costo fijo de pedido, transporte y recepción de $100 cada vez que realiza un pedido de vitaminas al fabricante. DO incurre en un costo de retención de 20%. El fabricante utiliza el siguiente programa de fijación de precios con descuento para todas las unidades. Evalúe el número de botellas que el gerente de DO debe ordenar en cada lote.

Cantidad ordenada	Precio unitario
0–4,999	$3.00
5,000–9,999	$2.96
10,000 o más	$2.92

Análisis:

En este caso el gerente tiene las siguientes entradas:

$q_0 = 0,\ q_1 = 5{,}000,\ q_2 = 10{,}000$

$C_0 = \$3.00,\ C_1 = \$2.96,\ C_2 = \$2.92$

$D = 120{,}000/\text{año},\ S = \$100/\text{lote},\ h = 0.2$

Con el paso 1 y la ecuación 11.10 obtenemos

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2DS}{hC_0}} = 6{,}324;\ Q_1 = \sqrt{\frac{2DS}{hC_1}} = 6{,}367;\ Q_2 = \sqrt{\frac{2DS}{hC_2}} = 6{,}410$$

En el paso 2 no tomamos en cuenta $i = 0$ porque $Q_0 = 6.324 > q_1 = 5{,}000$. Para $i = 1, 2$, obtenemos

$$Q_1^* = Q_1 = 6{,}367;\ Q_2^* = q_2 = 10{,}000$$

En el paso 3, obtenemos el costo total aplicando la ecuación 11.11 de la forma siguiente:

$$TC_1 = \left(\frac{D}{Q_1^*}\right)S + \left(\frac{Q_1^*}{2}\right)hC_1 + DC_1 = \$358{,}969; \quad TC_2 = \$354{,}520$$

Observe que el costo total más bajo es para $i = 2$. Por lo tanto, para DO es óptimo pedir $Q_2^* = 10{,}000$ botellas por lote y obtener el precio de descuento de $2.92 por botella.

Si el fabricante del ejemplo 11-7 vende todas las botellas por $3, sería óptimo para DO ordenar en lotes de 6,324 botellas. El descuento por cantidad es un incentivo para que DO ordene en grandes lotes de 10,000 botellas, aumentando tanto el inventario de ciclo como el tiempo de flujo. El impacto del descuento se amplía aún más si DO se esfuerza por reducir su costo fijo de pedido a $S = \$4$. Entonces, el tamaño de lote óptimo en ausencia de un descuento es de 1,265 botellas. Al haber descuento por cantidad para todas las unidades, el tamaño de lote óptimo es todavía de 10,000 botellas. En este caso, los descuentos por volumen conducen a un aumento de ocho veces el inventario promedio así como del tiempo de flujo en DO.

Los programas de fijación de precios con descuentos por cantidad para todas las unidades animan a los minoristas a ordenar en lotes más grandes para aprovechar los descuentos de precios. Esto hace crecer el inventario promedio y el tiempo de flujo en una cadena de suministro. El incremento en el inventario plantea una pregunta sobre el valor que ofrece el descuento sobre todas las unidades en una cadena de suministro. Antes de considerar esta pregunta, analizamos los descuentos por cantidad a unidades marginales.

Descuentos por cantidad a unidades marginales

Los descuentos por cantidad a unidades marginales (o incrementales) también se conocen como *tarifas en multibloque*. En este caso, el programa de fijación de precios contiene los puntos de quiebre especificados q_0, q_1,..., q_r. Aquí, el *costo promedio* no disminuye, sino el *costo marginal* de una unidad en un punto de quiebre (en contraste con el esquema de descuentos a todas las unidades). Si se hace un pedido de magnitud q, las primeras $q_1 - q_0$ unidades tienen un precio de C_0, las siguientes $q_2 - q_1$ tienen un precio de C_1, y en general las unidades $q_{i+1} - q_i$ tendrán un precio de C_i. El costo marginal por unidad varía con la cantidad comprada, como se muestra en la figura 11-4.

Ante un programa de fijación de precios como éste, el objetivo del minorista es decidir sobre un tamaño de lote que maximice los beneficios o, de manera equivalente, que reduzca al mínimo los costos de material, pedido y retención.

El procedimiento de solución que se analiza aquí evalúa el tamaño de lote óptimo para cada precio marginal C_i (esto obliga a un tamaño de lote entre q_i y q_{i+1}) y después se enfoca en el tamaño del lote que minimiza el costo total. Hu y Munson (2002) dieron a conocer un procedimiento más sencillo.

Para cada valor de i, $0 \leq i \leq r$, sea V_i el costo de ordenar q_i unidades. Defina $V_0 = 0$ y V_i para $0 \leq i \leq r$ de la siguiente manera:

$$V_i = C_0(q_1 - q_0) + C_1(q_2 - q_1) + \cdots + C_{i-1}(q_i - q_{i-1}) \quad \textbf{(11.12)}$$

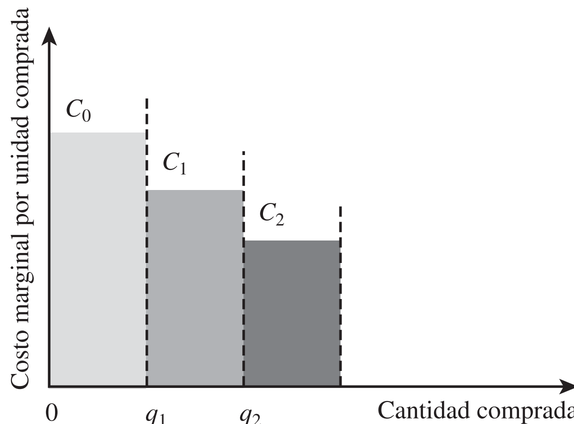


FIGURA 11-4 Costo unitario marginal con descuento por cantidad a unidades marginales.

Para cada valor de i, $0 \leq i \leq r - 1$, considere un tamaño de pedido Q en el rango de q_i a q_{i+1} unidades, es decir, $q_{i+1} \geq Q \geq q_i$. El costo material de cada orden de tamaño Q está dado por $V_i + (Q - q_i)C_i$. Los diversos costos asociados con dicho pedido son los siguientes:

$$\text{Costo de pedido anual} = \left(\frac{D}{Q}\right)S$$

$$\text{Costo de retención anual} = [V_i + (Q - q_i)C_i]h/2$$

$$\text{Costo de material anual} = \frac{D}{Q}[V_i + (Q - q_i)C_i]$$

El costo total anual es la suma de los tres costos y está dado por

$$\text{Costo total anual} = \left(\frac{D}{Q}\right)S + [V_i + (Q - q_i)C_i]h/2 + \frac{D}{Q}[V_i + (Q - q_i)C_i]$$

Paso 1: Evalúe el tamaño de lote óptimo utilizando la ecuación 11.13 para cada precio C_i. El tamaño de lote óptimo para el precio C_i se obtiene tomando la primera derivada del costo total con respecto al tamaño del lote e igualándola a 0. Esto resulta en un tamaño de lote óptimo de

$$\text{El tamaño de lote óptimo para el precio } C_i \text{ es } Q_i = \sqrt{\frac{2D(S + V_i - q_iC_i)}{hC_i}} \quad \textbf{(11.13)}$$

Observe que el tamaño de lote óptimo se obtiene mediante una fórmula muy parecida a la de la EOQ (ecuación 11.5), salvo que la presencia del descuento por cantidad tiene el efecto de elevar el costo fijo por orden en una cantidad $V_i - q_iC_i$ (de S a $S + V_i - q_iC_i$).

Paso 2: Enseguida seleccionamos la cantidad de pedido Q_i^* para cada precio C_i. Hay tres casos posibles para Q_i:

1. Si $q_i \leq Q_i \leq q_{i+1}$ entonces establezca $Q_i^* = Q_i$
2. Si $Q_i < q_i$ entonces establezca $Q_i^* = q_i$
3. Si $Q_i > q_{i+1}$ entonces establezca $Q_i^* = q_{i+1}$

Paso 3: Calcule el costo total anual por ordenar Q_i^* unidades de la siguiente manera:

$$TC_i = \left(\frac{D}{Q_i^*}\right)S + [V_i + (Q_i^* - q_i)C_i]h/2 + \frac{D}{Q_i^*}[V_i + (Q_i^* - q_i)C_i] \quad \textbf{(11.14)}$$

Paso 4: Seleccione el tamaño de pedido Q_i^* con el menor costo TC_i.

En el ejemplo 11-8 evaluamos el tamaño de lote óptimo, dado un descuento por cantidad a unidades marginales.

EJEMPLO 11-8 Descuentos por cantidad a unidades marginales

Volvamos al ejemplo 11-7 de DO, y suponga que el fabricante utiliza el siguiente programa de fijación para precios con descuento marginal:

Cantidad ordenada	Precio unitario marginal
0–5,000	$3.00
5,000–10,000	$2.96
Más de 10,000	$2.92

Esto implica que si se hace un pedido de 7,000 botellas, las primeras 5,000 tienen un costo unitario de $3.00, y las restantes 2,000 un costo unitario de $2.96. Evalúe el número de botellas que DO debe ordenar en cada lote.

Análisis:

En este caso tenemos

$$q_0 = O, q_1 = 5{,}000, q_2 = 10{,}000$$
$$C_0 = \$3.000\ C_1 = \$2.96, C_2 = \$2.92$$
$$D = 120{,}000/\text{año}, S = \$100/\text{lote}, h = 0.2$$

Con la ecuación 11.12 obtenemos

$$V_0 = 0; V_1 = 3(5{,}000 - 0) = \$15{,}000$$
$$V_2 = 3(5{,}000 - 0) + 2.96(10{,}000 - 5{,}000) = \$29{,}800$$

Con el paso 1 y la ecuación 11.13, obtenemos

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2D(S + V_0 - q_0C_0)}{hC_0}} = 6{,}324$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D(S + V_1 - q_1C_1)}{hC_1}} = 11{,}028$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2D(S + V_2 - q_2C_2)}{hC_2}} = 16{,}961$$

En el paso 2 establecemos $Q_0^* = q_1 = 5{,}000$ porque $Q_0 = 6{,}324 > q_1 = 5{,}000$. Del mismo modo, obtenemos $Q_1^* = q_2 = 10{,}000$ y $Q_2^* = Q_2 = 16{,}961$.

En el paso 3 obtenemos el costo total para $i = 0, 1, 2$, utilizando la ecuación 11.14 para

$$TC_0 = \left(\frac{D}{Q_0^*}\right)S + [V_0 + (Q_0^* - q_0)C_0]h/2 + \frac{D}{Q_0^*}[V_0 + (Q_0^* - q_0)C_0] = \$363{,}900$$

$$TC_1 = \left(\frac{D}{Q_1^*}\right)S + [V_1 + (Q_1^* - q_1)C_1]h/2 + \frac{D}{Q_1^*}[V_1 + (Q_1^* - q_1)C_1] = \$361{,}780$$

$$TC_2 = \left(\frac{D}{Q_2^*}\right)S + [V_2 + (Q_2^* - q_2)C_2]h/2 + \frac{D}{Q_2^*}[V_2 + (Q_2^* - q_2)C_2] = \$360{,}365$$

Observe que el costo más bajo es para $i = 2$. Por lo tanto, resulta óptimo para DO ordenar en lotes de $Q_2^* = 16{,}961$ botellas. Esto es mucho mayor que el tamaño de lote óptimo de 6,324 cuando el fabricante no ofrece ningún descuento.

Si el costo fijo del pedido es de $4, el tamaño de lote óptimo para DO es de 15,755 con el descuento comparado con un tamaño de lote de 1,265 sin el descuento. Este análisis demuestra que puede haber tamaños de pedido significativos y por lo tanto inventarios de ciclo importantes a falta de costos de pedido fijos formales, siempre y cuando se ofrezcan descuentos por cantidad. Por lo tanto, los descuentos por cantidad conducen a una acumulación significativa de inventario de ciclo en una cadena de suministro. En muchas cadenas de suministro los descuentos por cantidad contribuyen más al inventario de ciclo que los costos de pedido fijo. Esto nos obliga una vez más a cuestionar el valor de los descuentos por cantidad en una cadena de suministro.

¿Por qué descuentos por cantidad?

Hemos visto que cuando hay descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote tiende a aumentar el nivel del inventario de ciclo en la cadena de suministro. Ahora presentamos argumentos a favor de la presencia de los descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote en una cadena de suministro. En cada caso buscamos las circunstancias en que un descuento por cantidad basado en el tamaño de lote aumenta el superávit de la cadena de suministro. Los descuentos por cantidad pueden aumentar el superávit de la cadena de suministro por las siguientes dos razones principales:

1. Mejora de la coordinación para aumentar los beneficios totales de la cadena de suministro
2. Extracción de superávit a través de la discriminación de precios

Munson y Rosenblatt (1998) también proporcionan otros factores, como el marketing, que motivan a los vendedores a ofrecer descuentos por cantidad. Ahora se analizará cada una de las dos situaciones con mayor detalle.

COORDINACIÓN PARA AUMENTAR LOS BENEFICIOS TOTALES DE LA CADENA DE SUMINISTRO Una cadena de suministro es *coordinada* si las decisiones de los minoristas y proveedores maximizan los beneficios totales de la cadena de suministro. En realidad, cada etapa en una cadena de suministro puede tener un propietario independiente y, por lo tanto, tratar de maximizar los beneficios propios de la etapa. Por ejemplo, es probable que cada etapa de una cadena de suministro tome una decisión para el tamaño del lote con el objetivo de reducir al mínimo sus costos globales propios. El resultado de esta toma de decisiones independientes puede ser una falta de coordinación en la cadena de suministro puesto que las acciones que maximizan las ganancias de los minoristas pueden no maximizar las ganancias de la cadena de suministro. En esta sección analizamos la forma en que un fabricante puede utilizar descuentos apropiados para asegurarse de que la cantidad total de ganancias en la cadena de suministro se maximice incluso si el vendedor está trabajando para maximizar sus propios beneficios.

Descuentos por cantidad para productos básicos. Los economistas han argumentado que para los productos básicos como la leche existe un mercado competitivo y los costos son impulsados hasta el costo marginal de los productos. En este caso el mercado fija el precio y el objetivo de la empresa es reducir los costos con el fin de aumentar las ganancias. Considere, por ejemplo, el minorista en línea DO, analizado anteriormente. Puede argumentarse que vende un producto básico. En esta cadena de suministro, el fabricante y DO incurren en costos relacionados con cada pedido realizado por el minorista. El fabricante incurre en costos fijos relacionados con la colocación y el cumplimiento de pedidos (S_M) y costos de retención ($h_M C_M$) a medida que se acumula inventario para reabastecer la orden. Del mismo modo, DO incurre en costos fijos (S_R) por cada orden que coloca y costos de retención ($h_R C_R$) por el inventario que posee, dado que vende cada orden poco a poco. A pesar de que ambas partes incurren en costos asociados con la decisión de los tamaños de lote tomada por DO, el minorista basa sus decisiones de tamaño de lote únicamente en los costos que enfrenta. Esto se traduce en decisiones para el dimensionamiento de los lotes que son localmente óptimas, pero no maximizan el superávit de la cadena de suministro. Ilustramos esta idea en el ejemplo 11-9.

EJEMPLO 11-9 Impacto de los tamaños de lote localmente óptimos en una cadena de suministro

La demanda de vitaminas es de 10,000 botellas por mes. DO incurre en un costo fijo de pedido por su colocación, transporte y recepción de $100 cada vez que ordena un lote de vitaminas al fabricante. DO incurre en un costo de retención de 20%. El fabricante cobra $3 por cada frasco de vitaminas compradas. Evalúe el tamaño de lote óptimo para DO.

Cada vez que DO realiza un pedido, el fabricante tiene que procesar, empacar y enviar el lote. El fabricante tiene una línea que empaca las botellas a un ritmo constante que coincide con la demanda; además incurre en un costo fijo de $250 por satisfacer una orden, en un costo de producción de $2 por botella y en un costo de retención de 20%. ¿Cuál es el costo anual de satisfacer y mantener en el que incurre el fabricante como consecuencia de la política de pedidos de DO?

Análisis:

En este caso tenemos

$$D = 120{,}000/\text{año},\ S_R = \$100/\text{lote},\ h_R = 0.2,\ C_R = \$3$$
$$S_M = \$250/\text{lote},\ h_M = 0.2,\ C_M = \$2$$

Con la fórmula de EOQ (ecuación 11.5), se obtiene el tamaño de lote óptimo y el costo anual para DO como:

$$Q_R = \sqrt{\frac{2DS_R}{h_R C_R}} = \sqrt{\frac{2 \times 120{,}000 \times 100}{0.2 \times 3}} = 6{,}324$$

$$\text{Costo anual para DO} = \left(\frac{D}{Q_R}\right)S_R + \left(\frac{Q_R}{2}\right)h_R C_R = \$3{,}795$$

Si DO ordena en tamaños de lote de $Q_R = 6{,}324$, el costo anual en el que incurre el fabricante se obtiene como:

$$\text{Costo anual para el fabricante} = \left(\frac{D}{Q_R}\right)S_M + \left(\frac{Q_R}{2}\right)h_M C_M = \$6{,}009$$

Por tanto, el costo anual de la cadena de suministro (fabricante + DO) es \$6,009 + \$3,795 = \$9,804.

En el ejemplo 11-9, DO escoge el tamaño de lote de 6,324 con el objetivo de reducir al mínimo sus propios costos. Desde una perspectiva de la cadena de suministro, el tamaño de lote óptimo debe explicar el hecho de que tanto DO y como el fabricante incurren en costos asociados con cada lote de reabastecimiento. Si suponemos que el fabricante produce a una velocidad que coincide con la demanda (como se supone en el ejemplo 11-9), el costo total de la cadena de suministro utilizando un tamaño de lote Q se obtiene de la manera siguiente:

$$\text{Costo anual para DO y el fabricante} = \left(\frac{D}{Q}\right)S_R + \left(\frac{Q}{2}\right)h_R C_R + \left(\frac{D}{Q}\right)S_M + \left(\frac{Q}{2}\right)h_M C_M$$

El tamaño del lote óptimo (Q^*) para la cadena de suministro se obtiene tomando la primera derivada del costo total con respecto a Q e igualándola a 0 como se muestra a continuación:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(S_R + S_M)}{h_R C_R + h_M C_M}} = 9{,}165$$

Si DO ordena en lotes de $Q^* = 9{,}165$ unidades, los costos totales para DO y el fabricante son los siguientes:

$$\text{Costo anual para DO} = \left(\frac{D}{Q^*}\right)S_R + \left(\frac{Q^*}{2}\right)h_R C_R = \$4{,}059$$

$$\text{Costo anual para el fabricante} = \left(\frac{D}{Q^*}\right)S_M + \left(\frac{Q^*}{2}\right)h_M C_M = \$5{,}106$$

Observe que si DO ordena un tamaño de lote de 9,165 unidades, el costo de la cadena de suministro se reduce hasta \$9,165 (a partir de \$9,804 cuando DO ordenó su propio tamaño óptimo de lote de 6,324). Entonces hay una oportunidad para que la cadena de suministro ahorre \$639. Sin embargo, el desafío es que al ordenar en lotes de 9,165 botellas el costo para DO aumenta \$264 por año, desde \$3,795 hasta \$4,059 (a pesar de que esto reduce los costos totales de la cadena de suministro). Por el contrario, los costos del fabricante bajan \$903, desde \$6,009 hasta \$5,106 al año. Por lo tanto, el fabricante debe ofrecer un incentivo adecuado a DO para que aumente su tamaño de lote. Un descuento por cantidad basado en el tamaño de lote es un estímulo apropiado en este caso. El ejemplo 11-10 proporciona detalles de cómo el fabricante puede diseñar un descuento adecuado por cantidad que lleve a DO a ordenar en lotes de 9,165 unidades a pesar de que DO trate de optimizar sus propios beneficios (y no las ganancias totales de la cadena de suministro).

EJEMPLO 11-10 Diseño de un descuento por cantidad adecuado, con base en el tamaño de lote

Considere los datos del ejemplo 11-9. Diseñe un descuento por cantidad adecuado que lleve a DO a ordenar en lotes de 9,165 unidades mientras trata de minimizar sólo sus propios costos totales.

Análisis:

Recuerde que ordenar en lotes de 9,165 unidades en vez de 6,324 aumenta los costos anuales de pedido y retención para DO en \$264. Así, el fabricante debe ofrecer un incentivo a DO de por lo menos \$264 anuales en términos de disminución del costo de material si DO hace pedidos en lotes de 9,165 unidades. La disminución

del costo de material por $264/año con base en ventas de 120,000 unidades implica que el costo de material debe reducirse de $3/unidad a $3 − 264/120,000 = $2.9978/unidad si DO ordena en lotes de 9,165.

Por lo tanto, el descuento por cantidad adecuado para el fabricante es cobrar $3 si DO hace pedidos en lotes más pequeños que 9,165 unidades y reducir el precio hasta $2.9978 para pedidos de 9,165 unidades o más.

Punto clave

Para los productos básicos cuyo precio lo fija el mercado, los fabricantes con grandes costos fijos por lote pueden utilizar descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote para maximizar los beneficios totales de la cadena de suministro. Sin embargo, estos descuentos aumentan el inventario de ciclo en la cadena de suministro.

Observe que ofrecer un descuento por cantidad basado en el tamaño de lote en este caso disminuye el costo total de la cadena de suministro. Sin embargo, aumenta el tamaño de lote que compra el minorista y, por lo tanto, aumenta el inventario de ciclo en la cadena de suministro.

Nuestro análisis sobre la coordinación de los productos básicos pone de manifiesto la importante relación entre los descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote ofrecidos y los costos de pedido en los que incurre el fabricante. A medida que el fabricante trabaja en la reducción del costo de pedido o preparación, el descuento que ofrece a los minoristas debe cambiar. Con un costo de pedido o preparación lo bastante bajo, el fabricante gana poco al utilizar un descuento por cantidad basado en el tamaño de lote. En el ejemplo 11-9 ya analizado antes, si el fabricante disminuye su costo fijo por pedido de $250 a $100, los costos totales de la cadena de suministro están cerca del mínimo sin descuentos por cantidad incluso si DO está tratando de minimizar su costo. Por lo tanto, si sus costos fijos de pedido se reducen a $100, para el fabricante tiene sentido eliminar todos los descuentos por cantidad. En la mayoría de las empresas, sin embargo, las áreas de marketing y ventas diseñan descuentos por cantidad, mientras el área de operaciones trabaja en la reducción de costos de preparación o pedido. Como resultado, los cambios en la fijación de precios no siempre se producen en respuesta a la reducción de costos de preparación en la manufactura. Es importante que las dos funciones coordinen estas actividades.

Descuentos por cantidad para productos en los cuales la empresa tiene poder de mercado. Ahora considere el escenario en el cual el fabricante ha inventado una nueva píldora de vitaminas, Vitaherb, que se deriva de ingredientes herbales y tiene otras propiedades muy valoradas en el mercado. Hay pocos competidores con un producto similar, por lo que puede afirmarse que el precio al que el minorista DO vende la Vitaherb influye en la demanda. Suponga que la demanda anual que enfrenta DO está dada por la curva de demanda de 360,000 – 60,000 p, donde p es el precio al que DO vende Vitaherb. El fabricante incurre en un costo de producción C_M = $2 por botella de Vitaherb vendida. El fabricante debe decidir sobre el precio C_R que debe cargar a DO, y DO a su vez debe decidir sobre el precio p que se cobrará al cliente. Las ganancias para DO ($Prof_R$) y el fabricante ($Prof_M$) como resultado de esta política están dadas por

$$Prof_R = (p - C_R)(360{,}000 - 60{,}000\,p);\ \ Prof_M = (C_R - C_M)(360{,}000 - 60{,}000\,p)$$

DO elije el precio p para maximizar $Prof_R$. Tomando la primera derivada con respecto a p e igualándola a 0, obtenemos la siguiente relación entre p y C_R

$$p = 3 + \frac{C_R}{2} \qquad \textbf{(11.15)}$$

Dado que el fabricante está consciente de que DO desea optimizar sus propios beneficios, el fabricante es capaz de usar la relación entre p y C_R para obtener sus propios beneficios como

$$Prof_M = (C_R - C_M)\left(360{,}000 - 60{,}000\left(3 + \frac{C_R}{2}\right)\right) = (C_R - 2)(180{,}000 - 30{,}000\,C_R)$$

El fabricante elije su precio C_R para minimizar $Prof_M$. Si se toma la primera derivada de $Prof_M$ con respecto a C_R e iguala a 0, obtenemos C_R = $4. Sustituyendo de nuevo en la ecuación 11.15, resulta p = $5. Por lo tanto, cuando DO y el fabricante toman sus decisiones de precio de manera independiente, resulta óptimo para el fabricante cobrar un precio al mayoreo de C_R = $4 y para DO cobrar un precio de p = $5. La

demanda total del mercado en este caso es 360,000 – 60,000 p = 60,000 botellas. DO obtiene una ganancia $Prof_R = (5 - 4)(360{,}000 - 60.000 \times 5)$ = \$60,000 y el fabricante obtiene un beneficio $Prof_M = (4 - 2)$ $(360{,}000 - 60{,}000 \times 5)$ = \$120,000.

Considere ahora el caso en el cual las dos etapas coordinan sus decisiones de precios con el objetivo de maximizar la ganancia $Prof_{SC}$, de la cadena de suministro, que está dada por

$$Prof_{SC} = (p - C_M)(360{,}000 - 60{,}000\, p)$$

El precio de venta óptimo se obtiene al igualar a cero la primera derivada de $Prof_{SC}$ con respecto a p a 0. Así obtenemos el precio de venta coordinado como

$$p = 3 + \frac{C_M}{2} = 3 + \frac{2}{2} = \$4$$

Si las dos etapas coordinan sus precios y DO lo establece en p = \$4, la demanda del mercado es de 360,000 – 60,000p = 120,000 botellas. La ganancia total de la cadena de suministro si las dos etapas se coordinan es $Prof_{SC} = (\$4 - \$2) \times 120{,}000 = \$240{,}000$. Como resultado de que cada etapa establezca su precio de forma independiente, la cadena de suministro pierde entonces \$60,000 en ganancias. Este fenómeno se conoce como *doble marginación*; la cual conduce a una pérdida en la ganancia porque el margen de la cadena de suministro se divide en dos etapas, pero cada etapa toma su decisión de fijación de precios teniendo en cuenta sólo sus beneficios locales.

Punto clave

La ganancia de la cadena de suministro es menor si cada etapa de la cadena toma sus decisiones de precios en forma independiente, con el objetivo de maximizar su propio beneficio. Una solución coordinada resulta en una mayor ganancia.

Dado que las decisiones independientes de precios reducen las ganancias de la cadena de suministro, es importante tener en cuenta los esquemas de fijación de precios que pueden ayudar a recuperar parte de estos beneficios, incluso cuando cada etapa de la cadena de suministro sigue actuando de forma independiente. Proponemos dos esquemas de fijación de precios que el fabricante puede utilizar para lograr la solución coordinada y maximizar los beneficios de la cadena de suministro aunque actúe de una manera que maximice su beneficio propio.

1. *Tarifa de dos partes:* En este caso, el fabricante cobra su ganancia total como una cuota de franquicia por adelantado *ff* (que puede encontrarse en cualquier punto entre la ganancia no coordinada del fabricante $Prof_M$ y la diferencia entre la ganancia de la cadena coordinada y la ganancia no coordinada del minorista $Prof_{SC} - Prof_R$) y después vende al minorista al costo, es decir, el fabricante establece su precio de venta al mayoreo $C_R = C_M$. Este esquema de fijación de precios se conoce como una tarifa en dos partes debido a que el fabricante establece tanto la cuota de franquicia como el precio al mayoreo. En consecuencia, la decisión de los precios al menudeo se basa en la maximización de sus ganancias $(p - C_M)(360{,}000 - 60{,}000p) - ff$. Con la tarifa de dos partes la cuota de franquicia *ff* se paga por adelantado y por lo tanto es un costo fijo que no cambia con el precio de venta p. Así que el minorista DO está maximizando de manera efectiva las ganancias coordinadas de la cadena de suministro $Prof_{SC} = (p\text{-}C_M)(360{,}000 - 60{,}000p)$. Si se toma la primera derivada con respecto a p y se iguala a 0, se evalúa el precio de venta coordinado óptimo p como

$$p = 3 + \frac{C_M}{2}$$

En el caso de DO, recuerde que la ganancia total de la cadena de suministro cuando las dos etapas se coordinan es $Prof_{SC}$ = \$240,000 donde DO le cobra al cliente \$4 por botella de Vitaherb. La ganancia obtenida por DO cuando las dos etapas no se coordinan es $Prof_R$ = \$60,000. Una opción viable para el fabricante es construir una tarifa de dos partes mediante la cual se cobra a DO una cuota por adelantado $ff = Prof_{SC} - Prof_R$ = \$180,000 y un costo de material $C_R = C_M$ = \$2 por botella. DO maximiza su ganancia si establece el precio de las vitaminas en $p = 3 + C_M/2 = 3 + 2/2$ = \$4 por botella. Tiene ventas anuales de 360,000 – 60,000p = 120,000 y una utilidad de \$60,000. El fabricante obtiene una ganancia de \$180,000, que cobra por adelantado. Observe que el uso de una tarifa en dos partes ha aumentado las ganancias de la cadena de

suministro de $180,000 a $240,000, aunque el minorista DO ha tomado la decisión de fijar los precios a un nivel local óptimo dada la tarifa en dos partes. Un resultado similar se obtiene siempre y cuando el fabricante establezca la cuota por adelantado *ff* como cualquier valor entre $120,000 y $180,000, con un precio al mayoreo de $C_R = C_M$.

2. ***Descuento por cantidad basado en el volumen:*** Observe que la tarifa en dos partes es realmente un descuento por cantidad basado en el volumen por el cual el minorista DO paga un costo unitario promedio menor a medida que compra cantidades más grandes cada año (la cuota de franquicia *ff* se amortiza a más unidades). Esta observación puede hacerse explícita mediante el diseño de un programa de descuentos en función del volumen que lleve al minorista DO a comprar y vender la cantidad vendida cuando las dos etapas coordinan sus acciones.

Recuerde que la solución coordinada resulta en un precio de venta $p = 3 + C_M/2 = 3 + 2/2 = 4$. Este precio al menudeo resulta en una demanda total de $d^{coord} = 360{,}000 - 60{,}000 \times 4 = 120{,}000$. El objetivo del fabricante es diseñar un esquema de descuento basado en el volumen que lleve al minorista DO a comprar (y vender) $d^{coord} = 120{,}000$ unidades cada año. El esquema de fijación de precios debe ser tal que el detallista obtenga una ganancia de por lo menos $60,000, y el fabricante reciba un beneficio de por lo menos $120,000 (éstas son las ganancias que DO y el fabricante tenían cuando sus acciones no estaban coordinadas).

Es posible diseñar varios esquemas de fijación de precios. Una de estas iniciativas es que el fabricante cobre un precio al mayoreo de $C_R = \$4$ por botella (el mismo precio óptimo al mayoreo cuando las dos etapas no están coordinadas) para ventas anuales inferiores a $d^{coord} = 120{,}000$ unidades, y cobrar $C_R = \$3.50$ (cualquier valor entre $3.00 y $3.50 funcionará) para ventas de 120,000 o más unidades. Entonces le resulta óptimo a DO ordenar 120,000 unidades al año y fijar su precio a los clientes en $p = \$4$ por botella (para asegurar que todas se vendan). La ganancia total obtenida por DO $(360{,}000 - 60{,}000 \times p) \times (p - C_R) = \$60{,}000$. La ganancia total obtenida por el fabricante es de $120{,}000 \times (C_R - \$2) = \$180{,}000$ cuando $C_R = \$3.50$. El beneficio total de la cadena de suministro es de $240,000, lo cual es superior a los $180,000 que ganaba la cadena de suministro cuando las acciones no estaban coordinadas.

Si el fabricante cobra $3.00 (en vez de $3.50) por ventas de 120,000 unidades o más, todavía es óptimo para DO ordenar 120,000 unidades en el año y fijar su precio en $p = \$4$ por botella. La única diferencia es que ahora la ganancia total obtenida para DO aumenta a $120,000, mientras que para el fabricante ahora se reduce a $120,000. Los beneficios totales de la cadena de suministro se mantienen en $240,000. El precio que el fabricante es capaz de cobrar (entre $3.00 y $3.50) por la venta de 120,000 unidades o más dependerá de la capacidad de negociación de las dos partes.

En esta etapa se ha visto que, aun cuando no haya costos relacionados con el inventario, los descuentos por cantidad desempeñan un papel en la coordinación y la mejora de ganancias para la cadena de suministro. A menos que el fabricante tenga grandes costos fijos asociados a cada lote, los esquemas de descuento que son óptimos se basan en el volumen y no en el tamaño del lote. Es posible demostrar que, incluso cuando hay grandes costos fijos para el fabricante, una tarifa de dos partes o un descuento basado en el volumen, donde el fabricante traslada una parte del costo fijo al minorista, coordina de manera óptima la cadena de suministro y maximiza las ganancias dado el supuesto de que la demanda del cliente disminuye cuando el minorista incrementa el precio.

Una distinción clave entre los descuentos basados en el tamaño del lote y en el volumen es que los primeros se basan en la cantidad comprada por lote, no en la tasa de compra. Los descuentos por volumen, por el contrario, se basan en la tasa de compra o volumen comprado en promedio durante un tiempo determinado (por ejemplo, un mes, un trimestre o un año). Los descuentos basados en el tamaño del lote tienden a elevar el inventario de ciclo de la cadena de suministro al exhortar a los minoristas a incrementar el tamaño de cada lote. Los descuentos basados en el volumen, en cambio, son compatibles con los tamaños de lote pequeños que reducen el inventario de ciclo. Los descuentos basados en el tamaño de lote sólo tienen sentido cuando

Punto clave

Para productos en los cuales la empresa tiene poder de mercado, pueden utilizarse las tarifas de dos partes o los descuentos por cantidad basados en el volumen para lograr una coordinación en la cadena de suministro y maximizar sus ganancias.

Punto clave

Para productos en los que una compañía tiene poder de mercado, los descuentos basados en el tamaño de lote no son óptimos para la cadena de suministro, incluso si hay costos de inventario. En ese entorno se necesita una tarifa de dos partes o bien un descuento basado en el volumen, donde el proveedor traslada una parte de su costo fijo al minorista, se requiere para coordinar la cadena de suministro y maximizar sus beneficios.

el fabricante incurre en altos costos fijos por pedido. En todos los demás casos es mejor tener descuentos basados en el volumen.

Se puede establecer el punto de que incluso con descuentos basados en el volumen, los minoristas tienden a aumentar el tamaño del lote hacia el final del periodo de evaluación. Por ejemplo, suponga que el fabricante ofrece a DO un descuento de 2% si el número de botellas de Vitaherb comprado en un trimestre supera las 40,000 unidades. Esta política no afectará los tamaños de los lotes que pedirá DO al inicio del trimestre y la empresa ordenará en lotes pequeños para hacer coincidir la cantidad pedida con la demanda. Sin embargo, considere una situación en la que DO sólo ha vendido 30,000 botellas cuando falta una semana para que termine el trimestre. Para obtener el descuento por volumen, DO podrá ordenar 10,000 botellas durante la última semana a pesar de que espere vender sólo 3,000. En este caso el inventario de ciclo en la cadena de suministro sube a pesar de que no exista un descuento por cantidad basado en el tamaño del lote. La situación en la cual existen pedidos pico hacia el final de un horizonte financiero se conoce como el *fenómeno del palo de hockey* porque la demanda aumenta drásticamente hacia el final de un periodo, de forma parecida a un palo de hockey que se dobla hacia arriba en la parte cercana a su extremo. Este fenómeno se ha observado en muchas industrias. Una posible solución consiste en basar los descuentos por volumen en un horizonte oscilante. Por ejemplo, cada semana, el fabricante puede ofrecer a DO el descuento por volumen con base en las ventas durante las últimas 12 semanas. Tal horizonte oscilante amortigua el fenómeno del palo de hockey al hacer que cada semana sea la última en un horizonte de 12 semanas.

Hasta ahora hemos analizado sólo el escenario en el cual la cadena de suministro tiene un solo minorista. Es posible preguntarse si las ideas presentadas son sólidas y se aplican también si la cadena de suministro tiene múltiples minoristas, cada uno con diferentes curvas de demanda y todos proveídos por un solo fabricante. Como era de esperarse, la forma del esquema de descuentos que puede ofrecerse se vuelve más complicada en estos casos (por lo general, en vez de tener un único punto de quiebre en el que se ofrece el descuento basado en el volumen, existen varios de ellos). Sin embargo, la forma básica de la estructura de precios óptima no cambia. El descuento óptimo sigue con el volumen como base, y el precio promedio que se cobra a los minoristas sigue disminuyendo a medida que se incrementa la tasa de compra (volumen comprado por unidad de tiempo).

DISCRIMINACIÓN DE PRECIOS PARA MAXIMIZAR LAS GANANCIAS DEL PROVEEDOR La *discriminación de precios* es la práctica mediante la cual una empresa cobra precios diferenciales para maximizar las ganancias. Un ejemplo de la discriminación de precios se da en las aerolíneas: Los pasajeros que viajan en el mismo avión suelen pagar precios diferentes por sus asientos.

Como se analiza en el capítulo 16, el establecimiento de un precio fijo para todas las unidades no maximiza las ganancias del fabricante. En principio, el fabricante puede obtener toda el área bajo la curva de demanda por encima de su costo marginal al establecer un precio diferencial para cada unidad en función de la evaluación marginal de los clientes en cada cantidad. Los descuentos por cantidad son un mecanismo de discriminación de precios porque los clientes pagan precios diferentes en función de la cantidad comprada.

A continuación estudiamos las promociones comerciales y su impacto en el tamaño del lote y en el inventario de ciclo de la cadena de suministro.

Punto clave

La discriminación de precios para maximizar las ganancias del fabricante también puede ser una razón para ofrecer descuentos por cantidad dentro de una cadena de suministro.

11.5 DESCUENTOS EN EL CORTO PLAZO: PROMOCIONES COMERCIALES

Los fabricantes utilizan *promociones comerciales* para ofrecer un precio de descuento a los minoristas y un periodo de tiempo durante el cual el descuento es efectivo. Por ejemplo, un fabricante de sopa enlatada puede ofrecer un precio de descuento de 10% para el periodo de envío entre el 15 de diciembre y el 25 de enero. Para todas las compras dentro del horizonte de tiempo especificado, los minoristas obtienen 10% de descuento. En algunos casos el fabricante podrá exigir acciones específicas del minorista, como demostraciones, publicidad, promoción, etc., para calificar en la promoción comercial. Este tipo de promociones son bastante comunes en la industria de los productos envasados para consumo, en la cual los fabricantes promueven diferentes productos en diversos momentos del año.

El objetivo de las promociones comerciales es influir en los minoristas para que actúen de una manera que ayude al fabricante a alcanzar sus propias metas. Algunos de los objetivos clave (desde el punto de vista del fabricante) al lanzar una promoción comercial son los siguientes:[2]

1. Inducir a los minoristas a utilizar descuentos de precio, demostraciones o publicidad para impulsar las ventas.
2. Desplazar el inventario del fabricante al minorista y al cliente.
3. Defender una marca frente a la competencia.

Aunque éstos pueden ser los objetivos del fabricante, no está claro que siempre se consigan como resultado de una promoción comercial. Nuestro objetivo en esta sección es investigar el impacto de una promoción comercial en el comportamiento del vendedor y el desempeño de toda la cadena de suministro. La clave para entender este impacto es centrarse en cómo reacciona un minorista ante una promoción comercial que ofrece el fabricante. En respuesta a una promoción comercial, el minorista tiene las siguientes opciones:

1. Transferir parte o toda la promoción a los clientes para estimular las ventas.
2. Transferir muy poco de la promoción a los clientes, pero comprar en mayor cantidad durante el periodo de promoción para aprovechar la reducción temporal en el precio.

La primera acción reduce el precio del producto para el cliente final y conduce a mayores compras y por tanto a un aumento de las ventas de la cadena de suministro. La segunda acción no aumenta las compras efectuadas por el cliente pero incrementa la cantidad de existencias que se tienen en la tienda. Como resultado de ello, el inventario de ciclo y el tiempo de flujo de la cadena de suministro aumentan.

Una *compra por adelantado* se produce cuando un minorista compra en el periodo de la promoción con el propósito de vender en periodos futuros. Una compra por adelantado ayuda a reducir el costo futuro de los bienes del minorista para los productos que se venden después de terminada la promoción. Aunque una compra por adelantado a menudo es la respuesta apropiada del minorista a una promoción de precios, por lo general aumenta la variabilidad de la demanda con el consiguiente incremento en inventario y tiempos de flujo dentro de la cadena de suministro y puede reducir los beneficios de dicha cadena.

Nuestro objetivo en esta sección es comprender la respuesta óptima de un minorista frente a una promoción comercial. Identificamos los factores que afectan la compra por adelantado y cuantificamos el tamaño de una compra por adelantado realizada por el minorista. También identificamos los factores que influyen en la proporción de la promoción que un minorista transfiere al cliente.

Primero ilustramos el impacto de una promoción comercial en el comportamiento de las compras adelantadas del minorista. Considere un supermercado Cub Foods que vende sopa de fideos con pollo fabricada por la Campbell Soup Company. La demanda de los clientes por la sopa de fideos con pollo es D latas al año. El precio que cobra Campbell es de $\$C$ por lata. Cub Foods incurre en un costo de retención de h (por cada dólar de inventario mantenido durante un año). Si se usa la fórmula de la EOQ (ecuación 11.5), Cub Foods normalmente ordena con el siguiente tamaño de lote:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{hC}}$$

Campbell anuncia que está ofreciendo un descuento de $\$d$ por lata en el próximo periodo de cuatro semanas. Cub Foods debe decidir cuánto pedir considerando el precio con descuento en vez del tamaño de lote Q^* que normalmente ordena. Sea Q^d el tamaño de lote ordenado al precio con descuento.

---

[2]Para mayores detalles, vea Blattberg y Neslin (1990).

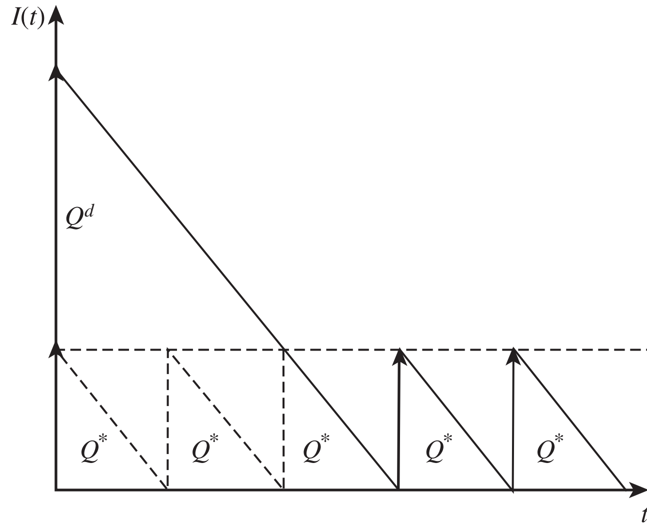


FIGURA 11-5 Perfil del inventario para las compras por adelantado.

Los costos que el minorista debe tener en cuenta al tomar esta decisión son de material, de retención y el de pedido. El aumento del tamaño de lote Q^d reduce el costo de material para Cub Foods porque compra más latas (para venderlas ahora y en el futuro) a un precio con descuento. El aumento del tamaño de lote Q^d incrementa el costo de retención porque los inventarios aumentan. También reduce el costo de pedido para Cub Foods porque algunos pedidos que de otra manera se hubieran realizado, ahora no son necesarios. El objetivo de Cub Foods es encontrar el trueque que minimice el costo total.

En la figura 11-5 se muestra el patrón del inventario cuando a un tamaño de lote Q^d le siguen tamaños de lote Q^*. El objetivo es identificar la Q^d que minimice el costo total (costo de material + costo de pedido + costo de retención) durante el intervalo de tiempo en que se consume la cantidad Q^d (ordenada durante el periodo de la promoción).

En este caso, el análisis preciso es complejo, por lo que se presenta un resultado válido con algunas restricciones.[3] El primer supuesto clave es que el descuento se ofrece una vez, sin descuentos futuros. El segundo supuesto fundamental es que el vendedor no realiza ninguna acción (por ejemplo, transmitir una parte de la promoción comercial) para influir en la demanda del cliente, la cual, por lo tanto, no se modifica. El tercer supuesto clave es que se analiza un periodo en el que la demanda es un múltiplo entero de Q^*. Con estos supuestos, la cantidad óptima de pedido con el precio de descuento está dada por

$$Q^d = \frac{dD}{(C - d)h} + \frac{CQ^*}{C - d} \qquad \textbf{(11.16)}$$

En la práctica los minoristas suelen estar conscientes de la oportunidad de la próxima promoción. Si la demanda hasta la siguiente promoción comercial anticipada es Q_1, es óptimo para el minorista ordenar *mín*$\{Q^d, Q^1\}$. Observe que la cantidad Q^d ordenada como consecuencia de la promoción es mayor que la cantidad ordenada regularmente Q^*. En este caso, la compra por adelantado está dada por

$$\text{Compra por adelantado} = Q^d - Q^*$$

Incluso para descuentos relativamente pequeños, el tamaño del pedido se incrementa en una gran cantidad, como se ilustra en el ejemplo 11-11.

[3]Para un análisis con más detalle, consulte Silver, Pyke, y Petersen (1998).

EJEMPLO 11-11 Impacto de las promociones comerciales sobre los tamaños de lote

DO es un minorista que vende Vitaherb, un popular suplemento vitamínico de dieta. La demanda de Vitaherb es de 120,000 botellas al año. El fabricante actualmente cobra $3 por cada botella y DO incurre en un costo de retención de 20%. Actualmente DO ordena $Q^* = 6{,}324$ botellas. El fabricante ha ofrecido un descuento de $0.15 para todas las botellas compradas por los minoristas durante el mes próximo. ¿Cuántas botellas de Vitaherb debe ordenar DO dada la promoción?

Análisis:

Si no hay alguna promoción, DO ordena en tamaños de lote de $Q^* = 6{,}324$ botellas. Dada una demanda mensual de $D = 10{,}000$ botellas, suele ordenar cada 0.6324 meses. Sin la promoción comercial se tiene lo siguiente:

$$\text{Inventario de ciclo en DO} = Q^*/2 = 6{,}324/2 = 3{,}162 \text{ botellas}$$

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = Q^*/2D = 6{,}324/(2D) = 0.3162 \text{ meses}$$

El tamaño de lote óptimo durante la promoción se obtiene aplicando la ecuación 11.15 y está dado por

$$Q^d = \frac{dD}{(C - d)h} + \frac{CQ^*}{C - d} = \frac{0.15 \times 120{,}000}{(3.00 - 0.15) \times 0.20} + \frac{3 \times 6{,}324}{3.00 - 0.15} = 38{,}236$$

Durante la promoción, DO debe hacer un pedido con un tamaño de lote de 38,236. En otras palabras, DO coloca una orden que vale 3.8236 meses de demanda. Cuando hay promoción comercial tenemos

$$\text{Inventario de ciclo en DO} = Q^d/2 = 38{,}236/2 = 19{,}118 \text{ botellas}$$

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = Q^d/(2D) = 38{,}236/(20{,}000) = 1.9118 \text{ meses}$$

En este caso la compra por adelantado está dada por

$$\text{Compra por adelantado} = Q^d = - Q^* = 38{,}236 - 6{,}324 = 31{,}912 \text{ botellas}$$

Como resultado de esta compra por adelantado, DO no colocará una orden en los próximos 3.8236 meses (sin una compra por adelantado, DO habría realizado otros 31,912/6,324 = 5.05 pedidos de 6,324 botellas cada uno durante este periodo). Observe que un descuento de 5% hace que el tamaño del lote aumente en más de 500%.

Como lo ilustra el ejemplo, la compra por adelantado que resulta de las promociones comerciales conduce a un aumento significativo en la cantidad pedida por el minorista. La orden grande es seguida por un periodo de pedidos bajos para compensar el inventario acumulado por el minorista. La fluctuación de pedidos como consecuencia de las promociones comerciales es uno de los principales causantes del efecto látigo que se analiza en el capítulo 10. El minorista puede justificar la compra por adelantado durante una promoción comercial, puesto que disminuye su costo total. Por el contrario, el fabricante puede justificar esta acción sólo como una necesidad competitiva (para contrarrestar la promoción de la competencia) o si se ha acumulado de manera inadvertida una gran cantidad de inventario en exceso, o bien la compra por adelantado permite al fabricante suavizar la demanda al pasar de un pico de la demanda a periodos más bajos de ésta. En la práctica, los fabricantes suelen acumular inventarios en anticipación a las promociones planificadas. Durante la promoción comercial, este inventario se desplaza hacia el minorista, principalmente como una compra por adelantado. Si ésta es una parte importante del total de ventas durante las promociones comerciales, los fabricantes terminan reduciendo los ingresos que obtienen de la venta porque la mayor parte del producto se vende con descuento. El aumento en el inventario y la disminución de los ingresos suelen conducir a una reducción de las ganancias del fabricante, así como del beneficio total de la cadena de suministro como resultado de las promociones comerciales.[4]

---

[4] Para mayores detalles vea Blattberg y Neslin (1990).

Punto clave

Las promociones comerciales conducen a un aumento significativo en el tamaño del lote y el inventario de ciclo debido a la compra por adelantado del minorista. En general esto resulta en una reducción de las ganancias de la cadena de suministro a menos que la promoción comercial reduzca las fluctuaciones de la demanda.

Ahora consideremos el grado hasta el cual el minorista puede encontrar óptimo transferir algunos de los descuentos al cliente final para estimular las ventas. Como lo muestra el ejemplo 11-12, para el minorista no es óptimo transferir la totalidad del descuento al cliente. En otras palabras, lo óptimo es capturar parte de la promoción y transferir sólo una parte de ésta al cliente.

EJEMPLO 11-12 ¿Cuánto del descuento debe transferir el minorista?

Suponga que DO se enfrenta a una curva de demanda para Vitaherb de 300,000 – 60,000 p. El precio normal aplicado por el fabricante al minorista es C_R = \$3 por botella. Si se pasan por alto todos los costos relacionados con el inventario, evalúe la respuesta óptima de DO para un descuento de \$0.15 por unidad.

Análisis:

Las ganancias para DO, el minorista, se dan de la siguiente manera:

$$Prof_R = (300{,}000 - 60{,}000\,p)\,p - (300{,}000 - 60{,}000\,p)C_R$$

Los precios al minorista para maximizar las ganancias, y el precio al menudeo óptimo se obtiene al establecer la primera derivada de las ganancias del minorista con respecto a p a 0. Esto implica que

$$300{,}000 - 120{,}000\,p + 60{,}000\,C_R = 0$$

o bien

$$p = (300{,}000 + 60{,}000\,C_R)/120{,}000 \quad \textbf{(11.17)}$$

Al sustituir C_R = \$3 en la ecuación 11.17, obtenemos un precio de venta p = \$4. Como resultado, la demanda del cliente al minorista al no haber promoción es

$$D_R = 30{,}000 - 60{,}000\,p = 60{,}000$$

Durante la promoción el fabricante ofrece un descuento de \$0.15, lo que resulta en un precio al minorista de C_R = \$2.85. Al sustituir en la ecuación 11.17, el precio óptimo fijado por DO es

$$p = (300{,}000 + 60{,}000 \times 2.85)/120{,}000 = \$3.925$$

Observe que la respuesta óptima del minorista es transferir al cliente solamente \$0.075 del descuento de \$0.15. El minorista no traslada el descuento completo. En el precio con descuento, DO experimenta una demanda de

$$D_R = 300{,}000 - 60{,}000\,p = 64{,}500$$

Esto representa un aumento de 7.5% de la demanda en relación con el caso básico. Para DO, resulta óptimo trasladar la mitad del descuento de la promoción comercial a los clientes. Esta acción se traduce en un aumento de 7.5% en la demanda del cliente.

De los ejemplos 11-11 y 11-12, observe que el aumento en la demanda del cliente resultante de una promoción comercial (7.5% de la demanda en el ejemplo 11-12) es insignificante en comparación con el aumento en la adquisición del minorista debido a la compra por adelantado (500% en el ejemplo 11-11). El impacto del incremento en la demanda del cliente puede atenuarse aún más por el comportamiento del consumidor. Para muchos productos, como detergente y pasta dental, la mayor parte del incremento en las adquisiciones de los clientes es una compra por adelantado realizada por el cliente; no es probable que empiecen a cepillarse los dientes con más frecuencia simplemente porque han comprado una gran cantidad de pasta de dientes. Para estos productos, la promoción comercial no aumenta realmente la demanda.

Punto clave

Frente a un descuento en el corto plazo, para el minorista es óptimo transferir al cliente sólo una fracción del descuento, conservando el resto para sí mismos. Al mismo tiempo, resulta óptimo para los minoristas aumentar el tamaño del lote de compra y comprar por adelantado para periodos futuros. Así, con frecuencia las promociones comerciales conducen a un incremento del inventario de ciclo en una cadena de suministro sin un aumento significativo en la demanda del cliente.

Los fabricantes siempre han luchado con el hecho de que los minoristas sólo trasladan una pequeña fracción de un descuento comercial al cliente. En un estudio realizado por Kurt Salmon and Associates, casi una cuarta parte de todos los inventarios de los distribuidores en la cadena de suministro de los alimentos secos podría atribuirse a compras por adelantado.[5]

El análisis anterior apoya la afirmación de que, en general, las promociones comerciales aumentan el inventario de ciclo en una cadena de suministro y perjudican el desempeño. Este hecho ha llevado a muchas empresas, incluyendo al mayor minorista del mundo, Walmart, y varios fabricantes, como Procter & Gamble, a adoptar los "precios bajos todos los días" (EDLP). En este caso, el precio se encuentra fijo en el tiempo y no se ofrecen descuentos en el corto plazo. Esto elimina cualquier incentivo para comprar por adelantado. Por consiguiente, todas las etapas de la cadena de suministro compran en cantidades que responden a la demanda.

En general, el descuento transferido del minorista al consumidor está influenciado por la elasticidad de la oferta minorista, que es el aumento de las ventas al menudeo por unidad de descuento en el precio. Cuanto mayor sea la elasticidad de la oferta, mayor será el descuento que el minorista puede transferir al consumidor. Así, las promociones comerciales del fabricante pueden tener sentido para los productos con una elevada elasticidad de la oferta que asegure una alta transferencia del minorista y altos costos de retención que garanticen una baja tasa de compras por adelantado. Blattberg y Neslin (1990) identifican los géneros de papel como productos con alta elasticidad de la oferta y altos costos de retención. También identifican las promociones comerciales como más eficaces para las marcas fuertes que para las débiles.

Las promociones comerciales también pueden tener sentido como una respuesta competitiva. En una categoría como las bebidas refrescantes de cola, algunos clientes son leales a su marca, mientras que otros cambian dependiendo de la marca que ofrece el precio más bajo. Considere una situación en la que uno de los competidores, por ejemplo Pepsi, ofrece a los minoristas una promoción comercial. Los minoristas aumentan sus compras de Pepsi y transferirán algo del descuento a los clientes. Los clientes sensibles al precio incrementarán sus compras de Pepsi. Si un competidor como Coca-Cola no responde, perderá un poco de su cuota de mercado en la forma de clientes sensibles a los precios. Puede afirmarse que una promoción comercial de Coca-Cola como respuesta está justificada en un entorno tan competitivo. Observe que si ambos competidores ofrecen promociones comerciales, no hay un aumento real de la demanda de ninguno, a menos que el consumo de los clientes crezca. Sin embargo, el inventario en la cadena de suministro se incrementa para ambas marcas. Entonces, ésta es una situación en la que las promociones comerciales son una necesidad competitiva, pero aumentan el inventario de la cadena de suministro, lo que conduce a la reducción de las ganancias para todos los competidores.

Las promociones comerciales deben diseñarse de manera que los minoristas limiten sus compras por adelantado y transfieran una mayor proporción del descuento a los clientes finales. El objetivo del fabricante es aumentar su cuota de mercado y sus ventas sin permitir que el minorista compre grandes cantidades por adelantado. Esto puede lograrse ofreciendo descuentos a los minoristas que estén basados en las ventas reales a los clientes en vez de en la cantidad comprada por el minorista. Así, el precio con descuento se aplica a los artículos vendidos a los clientes (venta directa) durante la promoción, no a la cantidad comprada por el minorista (venta interna). Esto elimina todo incentivo para las compras por adelantado.

Dada la tecnología de la información existente, muchos fabricantes actuales ofrecen promociones basadas en lecturas de escáner mediante las cuales el minorista recibe crédito de la promoción de descuento por cada unidad vendida. Otra opción es la de limitar la asignación a un minorista con base en las ventas históricas. Éste también es un esfuerzo por limitar la cantidad que el minorista puede comprar por adelantado. Sin embargo, es poco probable que los minoristas acepten estos sistemas con marcas débiles.

---

[5] Vea Kurt Salmon Associates (1993).

11.6 ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE CICLO MULTIESCALÓN

Una cadena de suministro *multiescalón* tiene varias etapas y posiblemente muchos actores en cada etapa. La falta de coordinación en las decisiones del tamaño de lote a través de la cadena de suministro resulta en altos costos y un inventario de ciclo mayor a lo necesario. El objetivo de un sistema de multiescalón es disminuir los costos totales mediante la coordinación de los pedidos a través de la cadena de suministro.

Considere un sistema multiescalón sencillo con un fabricante que suministra a un minorista. Suponga que la producción es instantánea, por lo que el fabricante puede producir una gran cantidad cuando se necesite. Si las dos etapas no están sincronizadas, el fabricante puede producir un nuevo lote de tamaño Q justo después de enviar un lote de tamaño Q al minorista. En este caso el inventario en las dos etapas es como se muestra en la figura 11-6. El minorista tiene un inventario promedio de $Q/2$ y el fabricante mantiene un inventario promedio de aproximadamente Q.

El inventario global de la cadena de suministro puede reducirse si el fabricante sincroniza su producción de modo que esté lista justo a tiempo para ser enviada al minorista. En cuyo caso el fabricante no conserva ningún inventario y el minorista tiene un inventario promedio de $Q/2$. La sincronización de la producción y el reabastecimiento permite que la cadena de suministro reduzca el inventario total de ciclo de aproximadamente $3Q/2$ a $Q/2$.

Para una cadena de suministro multiescalón sencilla con sólo un jugador en cada etapa, se ha demostrado que las políticas de pedidos en las que el tamaño de lote en cada etapa es un múltiplo entero del tamaño de lote de su cliente inmediato se aproximan al óptimo. Cuando los tamaños de lote son múltiplos enteros, la coordinación de los pedidos entre las etapas permite que una parte de la entrega a una etapa sea directa en la etapa siguiente. El grado de entrega directa depende de la relación del costo de pedido fijo S y el costo de retención H en cada etapa. Cuanto más cercana sea esta relación entre dos etapas, mayor será el porcentaje óptimo de producto de entrega directa. Munson, Hu, y Rosenblatt (2003) proporcionan las cantidades óptimas de pedido en un contexto multiescalón con un solo fabricante que provee a un solo minorista.

Si una de las partes (distribuidor) en una cadena de suministro provee a varias partes (minoristas) en la siguiente etapa de la cadena de suministro, es importante distinguir a los minoristas con alta demanda de los de baja demanda. En esta configuración, Roundy (1985) ha demostrado que se da una política casi óptima si

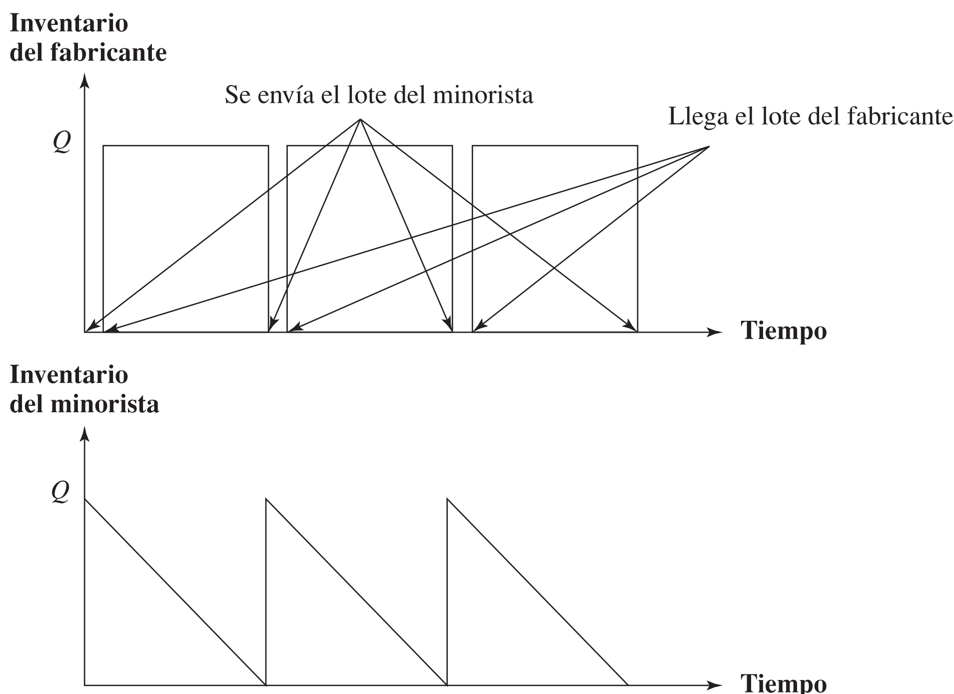


FIGURA 11-6 Perfil del inventario del minorista y del fabricante sin sincronización.

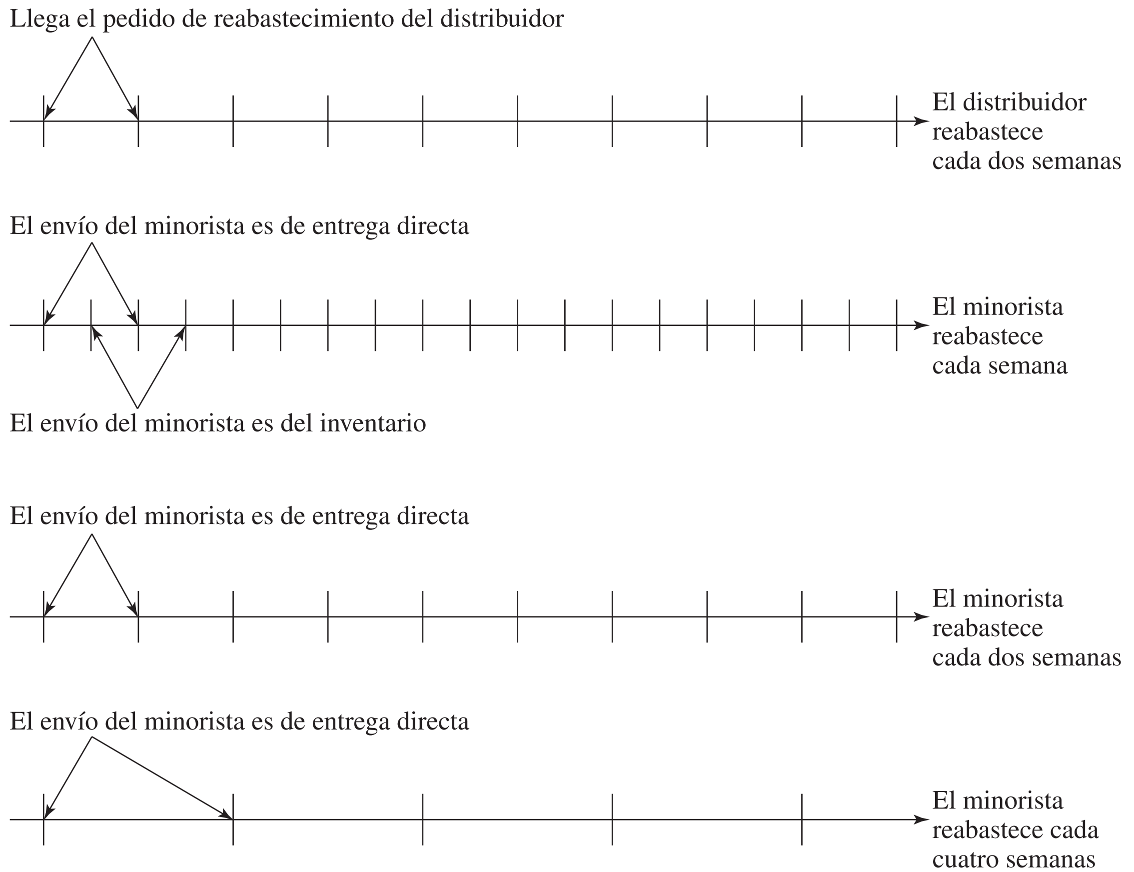


FIGURA 11-7 Ilustración de una política de reabastecimiento entero.

los minoristas se agrupan para ordenar en forma conjunta y, para cualquier minorista, ya sea que la frecuencia de pedido sea un múltiplo entero de la frecuencia de pedido del distribuidor o que la frecuencia de pedido del distribuidor sea un múltiplo entero de la frecuencia del minorista. En una política de reabastecimiento entero cada jugador ordena periódicamente, donde la longitud del intervalo de un nuevo pedido para cada actor es un múltiplo entero de un periodo básico. En la figura 11-7 se muestra un ejemplo de dicha política. Con esta política el distribuidor coloca un pedido de reabastecimiento cada dos semanas. Algunos minoristas lo hacen cada semana, y otros cada dos o cada cuatro semanas. Observe que para los minoristas que ordenan con más frecuencia que el distribuidor, su frecuencia de pedidos es un múltiplo entero de la frecuencia del distribuidor. Para los minoristas que ordenan con menos frecuencia que el distribuidor, la frecuencia de pedidos del distribuidor es un múltiplo entero de la frecuencia de los minoristas.

Si la política de reabastecimiento entero se sincroniza a través de las dos etapas, el distribuidor puede enviar directamente parte de su suministro en la etapa siguiente. Todos los envíos a los minoristas que no ordenan con más frecuencia que el distribuidor (cada dos o cuatro semanas) son envíos directos, como se muestra en la figura 11-7. Para los minoristas que ordenan con más frecuencia (cada semana) que el distribuidor, la mitad de sus órdenes son envíos directos y la otra mitad se envía del inventario, como se muestra en la figura 11-7.

Las políticas de reabastecimiento entero para la cadena de suministro que se muestran en la figura 11-8, pueden resumirse de la manera siguiente:

- Divida todas las partes dentro de una etapa en grupos tales que todas las partes dentro de un grupo le ordenen al mismo proveedor y tengan el mismo intervalo de reabastecimiento.
- Ajuste los intervalos de reabastecimiento a través de las etapas de modo que la recepción de una orden de reabastecimiento en cualquier etapa esté sincronizada con el envío de una orden de reabastecimiento al menos para uno de sus clientes. La porción sincronizada se puede entregar directamente.

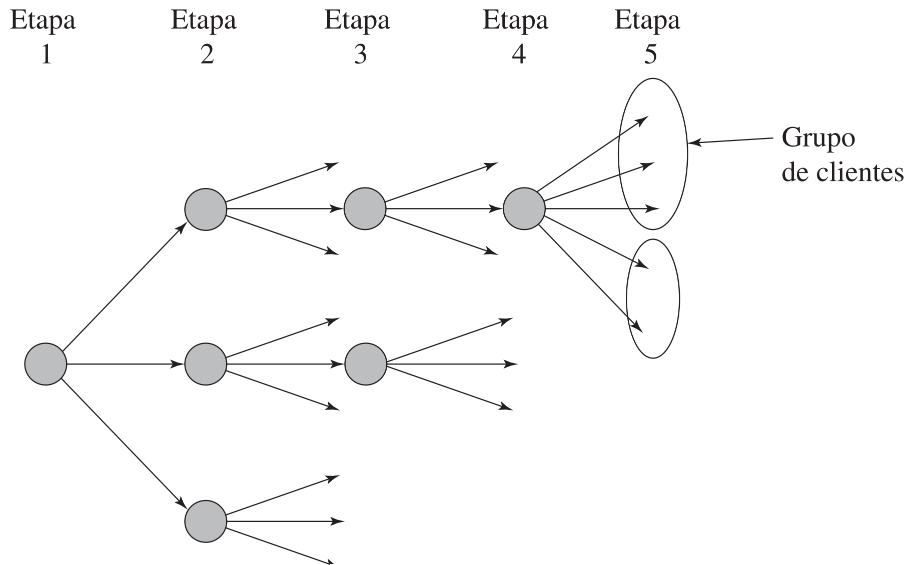


FIGURA 11-8 Distribución multiescalón de una cadena de suministro.

Punto clave

En las cadenas de suministro multiescalón, es posible sincronizar políticas de reabastecimiento entero para mantener bajos el inventario de ciclo y los costos de pedido. Con dichas políticas, el intervalo de reabastecimiento en cualquier etapa es un múltiplo entero de un intervalo de nuevo pedido básico. Las políticas de reabastecimiento entero sincronizado facilitan un alto nivel de entrega directa en toda la cadena de suministro.

- Para los clientes con un intervalo de un nuevo pedido más largo que el del proveedor, haga que el intervalo de un nuevo pedido del cliente sea un múltiplo entero del intervalo del proveedor y sincronice el reabastecimiento en las dos etapas para facilitar la entrega directa. En otras palabras, un proveedor debe entregar directamente todos los pedidos de los clientes que hacen un nuevo pedido con menos frecuencia que el proveedor.
- Para los clientes con un intervalo de nuevo pedido más corto que el del proveedor, haga que el intervalo de nuevo pedido del proveedor sea un múltiplo entero del intervalo del cliente y sincronice el reabastecimiento en las dos etapas para facilitar la entrega directa. En otras palabras, un proveedor debe entregar directamente uno de cada k envíos para un cliente que ordena con mayor frecuencia que el proveedor, donde k es un entero.
- La frecuencia relativa del reabastecimiento depende de los costos de preparación y retención, así como de la demanda de las diferentes partes.

Las políticas enteras analizadas anteriormente sincronizan el reabastecimiento dentro de la cadena de suministro y reducen los inventarios de ciclo, pero también aumentan las existencias de seguridad debido a la falta de flexibilidad en la elección del momento oportuno de un nuevo pedido, como se analiza en el capítulo 12. Por lo tanto, estas políticas tienen más sentido para las cadenas de suministro en las que los inventarios de ciclo son grandes y la demanda es relativamente predecible.

11.7 RESUMEN

1. ***Balancear los costos adecuados para elegir el tamaño de lote óptimo y el inventario de ciclo en una cadena de suministro.*** En general, el inventario de ciclo es igual a la mitad del tamaño del lote. Por lo tanto, cuando el tamaño del lote crece, también lo hace el inventario de ciclo. Al decidir sobre el tamaño óptimo del inventario de ciclo, el objetivo de la cadena de suministro es minimizar el costo total: los costos de pedido, de retención y de material. A medida que el ciclo de inventario se incrementa, también lo hace el costo de retención. Sin embargo, el costo de pedido y, en algunos casos, el costo de material disminuyen con

un incremento en el tamaño del lote y el inventario de ciclo. La EOQ equilibra los tres costos para obtener el tamaño de lote óptimo. Cuanto mayor sea el costo de pedido y transportación, mayores serán el tamaño del lote y el inventario de ciclo.

2. ***Comprender el impacto de los descuentos por cantidad en el tamaño de lote y el inventario de ciclo.*** Los descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote aumentan el tamaño del lote y el inventario de ciclo dentro de la cadena de suministro, puesto que exhortan a los compradores a comprar en grandes cantidades para aprovechar la disminución del precio.

3. ***Elaborar esquemas de descuento apropiados para una cadena de suministro.*** Los descuentos por cantidad se justifican para aumentar las ganancias totales de la cadena de suministro cuando las decisiones independientes del tamaño de lote en una cadena de suministro conducen a soluciones subóptimas desde una perspectiva global de la cadena de suministro. Si los proveedores tienen grandes costos fijos, es posible justificar descuentos por cantidad adecuados con base en el tamaño de lote porque ayudan a coordinar la cadena de suministro. Los descuentos basados en el volumen son más eficaces que los basados en el tamaño de lote porque incrementan las ganancias de la cadena de suministro sin aumentar el tamaño del lote y el inventario de ciclo.

4. ***Comprender el impacto de las promociones comerciales en el tamaño del lote y el inventario de ciclo.*** Las promociones comerciales incrementan el inventario y los costos totales de la cadena de suministro a través de la compra por adelantado, lo que desplaza la demanda futura al presente y crea un alto aumento en la demanda seguido de una disminución. El aumento de la variabilidad eleva los inventarios y los costos.

5. ***Identificar los instrumentos administrativos que reducen el tamaño del lote y el inventario de ciclo en una cadena de suministro sin incrementar los costos.*** Los instrumentos administrativos clave para reducir el tamaño del lote y el inventario de ciclo de la cadena de suministro sin incrementar los costos son los siguientes:

- Reducir los costos fijos de pedido y transportación en los que se incurre por cada nuevo pedido.
- Implementar esquemas de descuento basados en el volumen en vez de esquemas de descuento basados en el tamaño del lote.
- Eliminar o reducir las promociones comerciales y fomentar los EDLP. Basar las promociones comerciales en la venta directa en vez de en la venta interna al minorista.

Preguntas para debate

1. Considere un supermercado que debe decidir el tamaño de su orden de reabastecimiento a Procter & Gamble. ¿Qué gastos debe tener en cuenta a la hora de tomar esta decisión?
2. Analice cómo cambian los diversos costos del supermercado de la pregunta 1 a medida que disminuye el tamaño del lote ordenado a Procter & Gamble.
3. A medida que crece la demanda en la cadena del supermercado de la pregunta 1, ¿cómo esperaría usted que cambiara el inventario de ciclo medido en días de inventario? Explique.
4. El gerente del supermercado de la pregunta 1 quiere reducir el tamaño del lote sin aumentar los costos en que incurre. ¿Qué medidas puede tomar para lograr este objetivo?
5. Analice por qué las ganancias de la cadena de suministro pueden verse afectadas por un minorista que decide su tamaño de lote con el único objetivo de minimizar sus propios costos. ¿Qué ventaja habría si la cadena de suministro pudiera coordinar esta decisión?
6. ¿Cuándo se justifican los descuentos por cantidad en una cadena de suministro?
7. ¿Cuál es la diferencia entre los descuentos por cantidad basados en el tamaño de lote y en el volumen?
8. ¿Por qué los fabricantes como Kraft y Sara Lee ofrecen promociones comerciales? ¿Qué impacto tienen en la cadena de suministro? ¿Cómo deben estructurarse promociones comerciales para maximizar su impacto y minimizar el costo adicional que imponen a la cadena de suministro?
9. ¿Por qué es apropiado para una empresa incluir sólo el costo incremental cuando se estiman los costos de retención y de pedido?

Ejercicios

1. Harley-Davidson tiene su planta de ensamble de motores en Milwaukee y su planta de ensamble de motocicletas en Pensilvania. Los motores se transportan entre las dos plantas empleando camiones, donde cada viaje cuesta $1,000. La fábrica de motocicletas ensambla y vende 300 motocicletas cada día. Cada motor cuesta $500 y Harley incurre en un costo de retención de 20% por año. ¿Cuántos motores debe cargar Harley en cada camión? ¿Cuál es el inventario de ciclo de los motores en Harley?
2. Como parte de su iniciativa para poner en práctica la manufactura justo a tiempo (JIT, *Just In Time*) en la planta de en-

samble de motocicletas del ejercicio 1, Harley ha reducido el número de motores que carga en cada camión a 100. Si cada viaje de un camión sigue costando $1,000, ¿cómo afecta esta decisión los costos anuales de inventario en Harley? ¿Cuál sería el costo de cada camión si la carga de 100 motores fuera óptima para Harley?

3. Harley compra componentes a tres proveedores. Los componentes comprados al proveedor A tienen un precio de $5 cada uno y se utilizan a razón de 20,000 unidades por mes. Los del proveedor B cuestan $4 cada uno y se utilizan 2,500 unidades por mes. Los del proveedor C cuestan $5 cada uno y se utilizan 900 unidades por mes. Actualmente, Harley compra un camión diferente de cada proveedor. Como parte de su campaña JIT, Harley ha decidido comprarles a los tres proveedores en forma agregada. La empresa de transporte cobra un costo fijo de $400 por camión con un cargo adicional de $100 por cada parada. Por consiguiente, si Harley pide recoger el pedido de un solo proveedor, la empresa de transporte cobra $500; para dos proveedores, cobra $600, y para tres proveedores, cobra $700. Proponga una estrategia de reabastecimiento para Harley que minimice el costo anual. Compare el costo de su estrategia con la estrategia actual de Harley en la que ordena por separado a cada proveedor. ¿Cuál es el ciclo de inventario de cada componente en Harley?

4. Prefab, un fabricante de muebles, utiliza 20,000 pies^2 de contrachapado por mes. Su empresa de transporte le cobra a Prefab $400 por envío, independientemente de la cantidad comprada. El fabricante ofrece un descuento por cantidad para todas las unidades, con un precio de $1 por pie^2 para pedidos de menos de 20,000 pies^2, $0.98 por pie^2 para los pedidos entre 20,000 y 40,000 pies^2 y $0.96 por pie^2 para pedidos de más de 40,000 pies^2. Prefab incurre en un costo de retención de 20%. ¿Cuál es el tamaño del lote óptimo para Prefab? ¿Cuál es el costo anual de tal política? ¿Cuál es el inventario de ciclo del contrachapado en Prefab? ¿Cómo se compara con el inventario de ciclo si el fabricante no ofrece un descuento por volumen pero vende todo el contrachapado a $0.96 por pie^2?

5. Reconsidere el ejercicio 4 sobre Prefab. El fabricante ofrece ahora un descuento por cantidad a las unidades marginales de contrachapado. Los primeros 20,000 pies^2 de cualquier pedido se venden a $1 por pie^2, los próximos 20,000 pies^2 se venden a $0.98 por pie^2 y cualquier cantidad mayor a 40,000 metros^2 se vende a $0.96 por pie^2. ¿Cuál es el tamaño de lote óptimo para Prefab dada esta estructura de precios? ¿Cuánto inventario de ciclo de contrachapado conservará Prefab dada la política de pedidos?

6. La cadena de supermercados Dominick vende Nut Flakes, un cereal popular elaborado por la compañía de cereales Tastee. La demanda de Nut Flakes es de 1,000 cajas por semana. Dominick tiene un costo de retención de 25% y un costo fijo de transportación de $200 por cada orden de reabastecimiento colocada en Tastee. Teniendo en cuenta que Tastee normalmente cobra $2 por caja de Nut Flakes, ¡cuánto debe ordenar Dominick en cada lote de reabastecimiento? Tastee pone en marcha una promoción comercial reduciendo el precio de NutFlakes a $1.80 durante un mes. ¿Cuánto debe ordenar Dominick, dada la reducción del precio en el corto plazo?

7. Flanger es un distribuidor industrial que se surte mediante cientos de proveedores. Los dos modos de transporte disponibles para recibir envíos son LTL (*Less Than Truckload*) carga menor a un camión y TL (*Truckload*) carga de un camión. El envío LTL cuesta $1 por unidad, mientras que el envío TL cuesta$400 por camión. Cada camión puede transportar hasta 1,000 unidades. Flanger quiere una regla de asignación de productos a cada modo de envío (TL o LTL) con base en la demanda anual. Cada unidad cuesta $50 y Flanger aplica un costo de retención de 20%; incurre además en un costo fijo de $100 por cada pedido realizado con un proveedor.

- **a.** Determine un umbral para la demanda anual por encima del cual se prefiere TL y por debajo del cual se recomienda LTL.
- **b.** ¿Cómo cambia el umbral en relación con el inciso a si el costo unitario es de $100 (en vez de $50) y todos los demás datos permanecen sin cambio? ¿Qué modo es preferible conforme el costo unitario crece?
- **c.** ¿Cómo cambia el umbral en relación con el inciso a si el costo de LTL se reduce a $0.8 por unidad (en vez de $1 por unidad)?

8. SuperPart, un distribuidor de piezas de automóvil, tiene un gran almacén en la región de Chicago y está por decidir sobre una política para usar el transporte TL o LTL en sus envíos entrantes. El envío LTL cuesta $1 por unidad. El envío TL cuesta $800 por camión, más $100 por parada. Por lo tanto, un camión que se usa para recoger las cargas de tres proveedores cuesta $800 + 3 \times 100 = \$1{,}100$. Un camión puede transportar hasta 2,000 unidades. SuperPart incurre en un costo fijo de $100 por cada pedido realizado con un proveedor. Por lo tanto, por una orden con tres proveedores distintos incurre en un costo de pedido de $300. Cada unidad cuesta $50y SuperPart utiliza un costo de retención de 20%. Suponga que el producto de cada proveedor tiene una demanda anual de 3,000 unidades.

- **a.** ¿Cuál es el tamaño óptimo de pedido y el costo anual si se usa el envío LTL? ¿Cuál es el tiempo entre pedidos?
- **b.** ¿Cuál es el tamaño óptimo de pedido y el costo anual si se usa el envío TL con un camión por cada proveedor? ¿Cuál es el tiempo entre pedidos?
- **c.** ¿Cuál es el tamaño óptimo de pedido y el costo anual por producto si se usa el envío TL, pero se agrupan dos proveedores por camión?
- **d.** ¿Cuál es el número óptimo de proveedores que deben agruparse entre sí? ¿Cuál es el tamaño óptimo de pedido y el costo anual por producto en este caso? ¿Cuál es el tiempo entre pedidos?
- **e.** ¿Qué política de envío recomienda si cada producto tiene una demanda anual de 3,000? ¿Qué política de envío recomienda para productos con una demanda anual de 1,500? ¿Qué política de envío recomienda para productos con una demanda anual de 18,000?

9. PlasFib es un fabricante de fibras sintéticas de uso en la fabricación de tapicería de muebles. PlasFib fabrica fibra en 50 colores en una línea. Cuando se cambia de un color a otro, parte de la línea tiene que limpiarse, lo que conlleva una pérdida de material. Cada cambio cuesta 200 dólares en pérdida de material y transición de mano de obra. Suponga que cada cambio requiere que la línea cierre durante 0.5 horas. Cuando está en funcionamiento, la línea de fibra produce a una tasa de 100 libras por hora.

Las fibras vendidas por PlasFib se dividen en tres categorías. Hay 5 colores de movimiento rápido de los que venden en promedio 30,000 libras por color por año. Hay 10 colores de movimiento medio de los que venden en promedio 12,000 libras por color por año. Los otros productos tienen una velocidad de venta de lenta a media con 2,400 libras por año por cada color. Cada libra de fibra cuesta $5 y PlasFib tiene un costo de retención de 20%.

a. ¿Cuál es el tamaño del lote que PlasFib debe producir para cada uno de los colores de movimiento rápido, medio y lento? ¿En cuántos días de demanda se traduce esto?

b. ¿Cuál es el costo anual de preparación y de retención de las políticas que se sugieren en el inciso a?

c. ¿Cuántas horas de operación de planta requerirá el programa anterior en un año (incluya media hora de preparación por lote)?

10. TopOil, una refinaría en Indiana, da servicio a tres clientes cerca de Nashville, Tennessee, y mantiene un inventario de consignación (propiedad de TopOil) en cada ubicación. Actualmente, TopOil utiliza el transporte TL para entregar por separado a cada cliente. Cada camión cuesta $800 más $250 por cada parada. Por lo tanto, la entrega a cada cliente por separado cuesta $1,050 por camión. TopOil está considerando la agregación de entregas a Nashville en un solo camión. La demanda del cliente más grande es de 60 toneladas por año, la demanda del cliente medio es de 24 toneladas por año y la demanda del cliente más pequeño es de 8 toneladas por año. El costo del producto para TopOil es de $10,000 por tonelada y utiliza un costo de retención de 25%. La capacidad de carga es de 12 toneladas.

a. ¿Cuál es el costo anual de transportación y retención si TopOil envía un camión completamente cargado cada vez que un cliente se está quedando sin existencias? ¿Cuántos días de inventario mantiene para cada cliente de acuerdo con esta política?

b. ¿Cuál es la política óptima de entregas para cada cliente si TopOil surte por separado a cada uno de ellos? ¿Cuál es el costo anual de transporte y retención? ¿Cuántos días de inventario mantiene para cada cliente de acuerdo con esta política?

c. ¿Cuál es la política óptima de entregas para cada cliente si TopOil agrega los envíos para los tres clientes en cada camión que va a Nashville? ¿Cuál es el costo anual de transporte y retención? ¿Cuántos días de inventario mantiene para cada cliente de acuerdo con esta política?

d. ¿Puede proponer una política adaptada que tenga costos más bajos que las políticas en los incisos b o c? ¿Cuáles son los costos e inventarios para su política propuesta?

11. Crunchy, un fabricante de cereales, ha dedicado una planta para una cadena de tiendas importante. Las ventas de la cadena minorista promedian alrededor de 20,000 cajas al mes y la producción en la planta mantiene el ritmo de esta demanda promedio. Cada caja de cereal le cuesta a Crunchy $3 y se vende al minorista a un precio al mayoreo de $5. Tanto Crunchy como el minorista utilizan un costo de retención de 20%. Para cada pedido, el minorista incurre en un costo de pedido de $200. Crunchy incurre en un costo de transporte y pedido que asciende a $1,000 por orden enviada.

a. Si el minorista está tratando de minimizar sus costos de pedido y retención, ¿Qué tamaño de lote deberá ordenar en cada pedido? ¿Cuál es el costo anual de pedido y retención para el minorista como resultado de esta política? ¿Cuál es el costo anual de pedido y retención para Crunchy como resultado de esta política? ¿Cuál es el costo total de inventario para ambas partes como resultado de esta política?

b. ¿Qué tamaño de lote minimiza los costos de inventario (pedido, entrega y retención) tanto para Crunchy como para el minorista? ¿Cuánto se reducen los costos en relación con el inciso a como resultado de esta política?

c. Diseñe un descuento por cantidad para todas las unidades, que resulte en un pedido del minorista iguala la cantidad ordenada en el inciso b.

d. ¿Qué parte del costo de entrega de $1,000 debe Crunchy transmitir al minorista por cada lote, a fin de que el proveedor ordene la misma cantidad que en el inciso b?

12. La compañía Orange ha presentado un nuevo dispositivo musical llamado J-Pod. El J-Pod se vende a través de Good Buy, una tienda importante de artículos electrónicos. Good Buy ha estimado que la demanda del J-Pod dependerá del precio final de venta p de acuerdo con la curva de demanda

$$\text{Demanda } D = 2{,}000{,}000 - 2{,}000p$$

El costo de producción para Orange es de $100 por cada J-Pod.

a. ¿Qué precio al mayoreo debe cobrar Orange por el J-Pod? A este precio al mayoreo, qué precio al menudeo debería establecer Good Buy? ¿Cuáles son las ganancias para Orange y Good Buy en el punto de equilibrio?

b. Si Orange decide descontar $40 del precio al mayoreo, ¿cuánto descuento debe ofrecer Good Buy a los clientes si desea maximizar sus propias ganancias? ¿Qué fracción del descuento ofrecido por Orange debe trasladar al cliente?

13. La empresa Orange establece el precio de los J-Pods en $550 por unidad. Good Buy vende los J-Pods a $775. La demanda anual de este precio al por menor resulta ser de 450,000 unidades. Good Buy incurre en costos de pedido, recepción y transporte de $10,000 por cada lote de J-Pods ordenado. El costo de retención utilizado por el minorista es de 205%.

a. ¿Cuál es el tamaño de lote óptimo que Good Buy debe ordenar?

b. La compañía Orange le ha descontado $40 al precio de los J-Pods en el corto plazo (las próximas dos semanas). Good Buy ha decidido no cambiar el precio al menudeo, pero puede cambiar el tamaño del lote ordenado a Orange. ¿Cómo debe ajustar Good Buy su tamaño de lote dado este descuento? ¿Cuánto aumentará el tamaño del lote por el descuento?

Bibliografía

Blattberg, Robert C. y Scott A. Neslin. (1990). *Sales Promotion: Concepts, Methods, and Strategies*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Brealey, Richard A. y Stewart C. Myers. (2000). *Principles of Corporate Finance*. Boston, MA: Irwin McGraw-Hill.

Buzzell, Robert, John Quelch y Walter Salmon. (Marzo-Abril 1990). The Costly Bargain of Trade Promotions. *Harvard Business Review,* pp. 141-149.

Crowther, John F. (Marzo-Abril 1964). Rationale for Quantity Discounts. *Harvard Business Review,* pp. 121-127.

Dolan, Robert J. (1987). Quantity Discounts: Managerial Issues and Research Opportunities. *Marketing Science,* pp. 61-24.

Federgruen, Awi y Yu-Sheng Zheng. (1993). Optimal Power-of-Two Replenishment Strategies in Capacitated General Production/Distribution Networks. *Management Science* 39, pp. 710-727.

Goyal, Suresh K. (1995). Simple Procedure for Price Break Models. *Production Planning & Control* 6, pp. 584-585.

Hu, Jianli y Charles L. Munson. (2002). Dynamic Demand Lot-sizing Rules for Incremental Quantity Discounts. *Journal of the Operational Research Society* 53, pp. 855-863.

Kurt Salmon Associates, Inc. *Efficient Consumer Response*. Washington, DC: Food Marketing Institute, 1993.

Lee, Hau L. y Corey Billing,ton. (Primavera 1992). Managing Supply Chain Inventories: Pitfalls and Opportunities. *Sloan Management Review,* pp. 65-73.

Maxwell, William L. y John A. Muckstadt. (1985). Establishing Consistent and Realistic Reorder Intervals in Production-Distribution Systems. *Operations Research* 33, pp. 1316-1341.

Munson, Charles L., Jianli Hu y Meir J. Rosenblatt. (2003). Teaching the Costs of Uncoordinated Supply Chains. *Interfaces* 33, pp. 24-39.

Munson, Charles L. y Meir J. Rosenblatt. (1998). Theories and Realities of Quantity Discounts. *Production and Operations Management* 7, pp. 352-369.

Roundy, Robin. "98%-Effective Integer-Ratio Lot-Sizing for One-Warehouse Multi-Retailer Systems." *Management Science* 31 (1985): 1416-1429.

Roundy, Robin. (1986). A 98%-Effective Lot-Sizing Rule for a Multi-Product, Multi-Stage Production Inventory System. *Mathematics of Operations Research* 11, pp. 699-727.

Silver, Edward A., David Pyke, y Rein Petersen. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Nueva York: Wiley.

Zipkin, Paul H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. Boston, MA: Irwin McGraw-Hill.

ESTUDIO DE CASO

Estrategia de ejecución en MoonChem

John Kresge, vicepresidente de la cadena de suministro, salió muy preocupado de la reunión en MoonChem, un fabricante de productos químicos especializados. En la reunión de fin de año se evaluó el desempeño financiero y se comentó que la empresa estaba logrando sólo dos rotaciones de inventario al año. Una mirada más atenta reveló que más de la mitad del inventario propiedad de MoonChem estaba en consignación con sus clientes. Esto fue muy sorprendente, dado que sólo 20% de sus clientes tenía inventario a consignación. John era responsable del inventario, así como de los costos de transporte, por lo que decidió revisar cuidadosamente la administración del inventario e idear un plan adecuado.

Operaciones de MoonChem

MoonChem, un fabricante de productos químicos especializados, tenía ocho plantas de producción y 40 centros de distribución. Las plantas fabricaban los productos químicos básicos y los centros de distribución los mezclaban para producir cientos de productos finales que se ajustan a las especificaciones del cliente. En el mercado de los químicos especializados, MoonChem decidió diferenciarse en la región del Oeste Medio, proporcionando inventario a consignación para sus clientes. La empresa quería que esta estrategia se volviera nacional en caso de demostrar su eficacia. MoonChem mantenía en consignación los productos químicos requeridos por cada cliente de la región del Oeste Medio, en las instalaciones de los clientes. Éstos utilizaban los productos químicos según se requerían y MoonChem administraba su reabastecimiento para asegurar la disponibilidad. En la mayoría de los casos, el consumo de productos químicos por parte de los clientes era estable. MoonChem conservaba la propiedad de los inventarios a consignación y recibía el pago por los productos químicos utilizados.

Distribución en MoonChem

MoonChem utilizaba camiones Golden, donde cada camión se cargaba completamente en todos sus envíos. Cada camión tenía una capacidad de 40,000 libras y Golden cobraba una tasa fija dado el origen y el destino, independientemente de la cantidad enviada en el camión. MoonChem enviaba cargas completas a cada cliente para reabastecer su inventario a consignación.

Estudio piloto de Illinois

John decidió revisar cuidadosamente sus operaciones de distribución. Se enfocó en el Estado de Illinois, al cual se

(Continúa)

(Continuación)

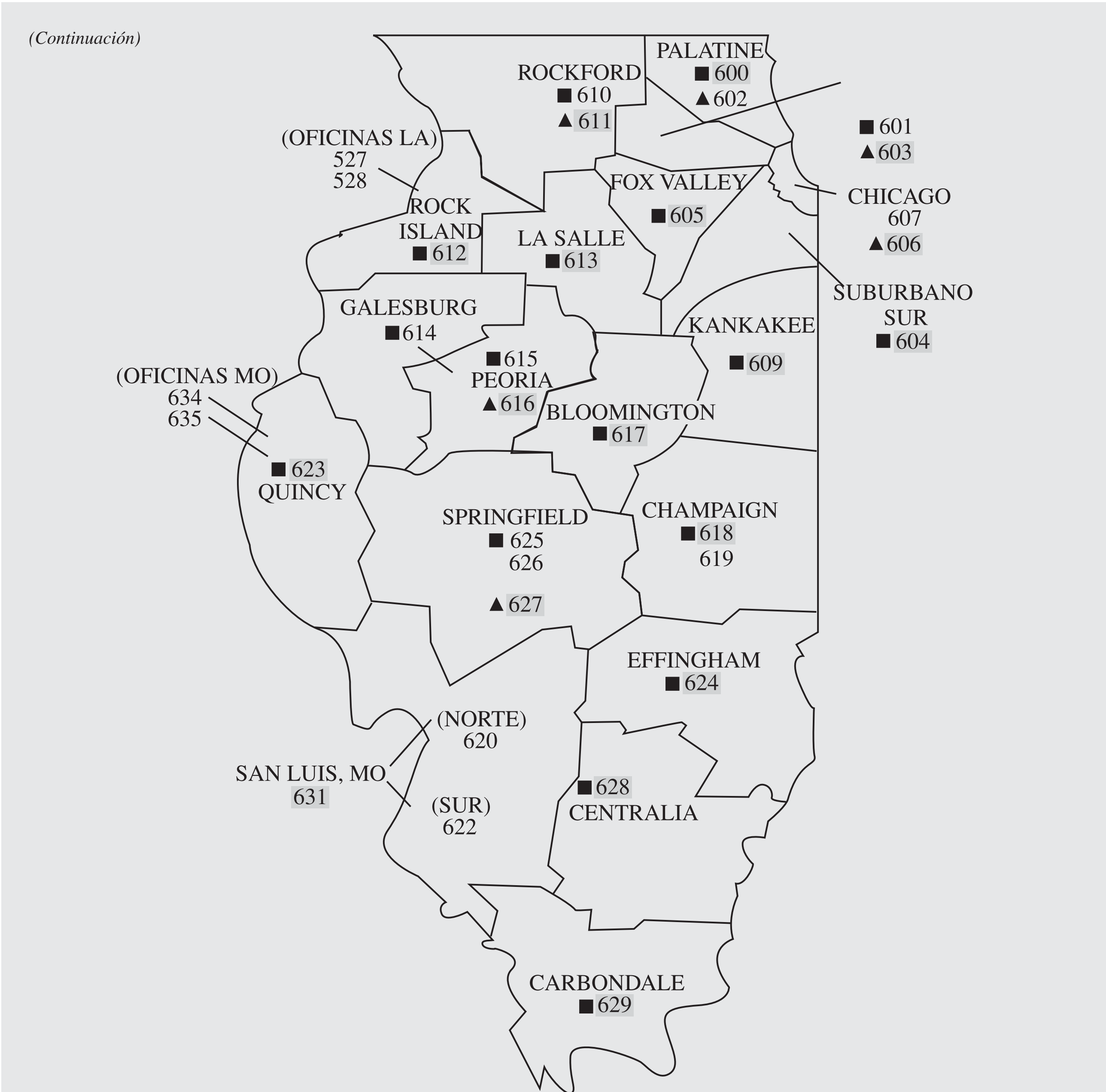


FIGURA 11-9 Mapa de códigos postales en Illinois.

proveía desde el centro de distribución de Chicago. Dividió a Illinois en un conjunto de códigos postales contiguos, como se muestra en la figura 11-9. Concentró su atención en la región de Peoria, clasificada con el código postal 615. Un estudio cuidadoso de la región de Peoria reveló 2 clientes grandes, 6 clientes medianos y 12 clientes pequeños. El consumo anual de cada tipo de cliente se muestra en la tabla 11-4. Golden cobraba $400 por cada envío de Chicago a Peoria, y la política de MoonChem era enviar un camión completo a cada cliente según se necesitara.

John contactó a Golden para averiguar qué se necesitaría para incluir envíos de varios clientes en una sola carga. Golden le informó que cobraría $350 por camión y agregaría $50 por cada parada de la que Golden fuera responsable. Por lo tanto, si Golden llevaba un camión que debía hacer una entrega, el costo total sería de $400.

Tabla 11-4 Perfil de los clientes de MoonChem en la Región de Peoria

Tipo de cliente	Número de clientes	Consumo (libras por mes)
Pequeño	12	1,000
Mediano	6	5,000
Grande	2	12,000

Sin embargo, si el camión debía hacer cuatro entregas, el costo total sería de $550.

Cada libra de químicos en consignación le costaba a MoonChem $1, y tenía un costo de retención de 25%. John quería analizar diferentes opciones para la distribución disponible en la región de Peoria, a fin de decidir la política de distribución óptima. El estudio detallado de la región de Peoria proporcionaría el modelo para la estrategia de distribución que MoonChem planeaba lanzar a nivel nacional.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el costo anual de la estrategia de MoonChem, consistente en enviar cargas completas a cada cliente en la región de Peoria, a fin de reabastecer el inventario a consignación?
2. Considere diferentes opciones de entrega y evalúe el costo de cada una. ¿Qué opción de entrega recomienda para MoonChem?
3. ¿Cómo impacta su recomendación al inventario a consignación de MoonChem?

APÉNDICE 11A

Cantidad económica del pedido

Objetivo:

Deducir la fórmula (EOQ) de la cantidad económica del pedido.

Análisis:

Dada una demanda anual D, el costo de pedido S, el costo unitario C, y el costo de retención h, nuestro objetivo es estimar el tamaño del lote Q que minimice el costo total anual. Para un tamaño de lote Q, el costo total anual está dado por

$$\text{Costo total anual, } TC = (D/Q)S + (Q/2)hC + CD$$

Para minimizar el costo total se toma la primera derivada con respecto al tamaño del lote Q y se iguala a cero. Tomando la primera derivada con respecto a Q tenemos

$$\frac{d(TC)}{dQ} = -\frac{DS}{Q^2} + \frac{hC}{2}$$

Si igualamos la primera derivada a cero, la cantidad económica de pedido está dada por

$$Q^2 = \frac{2DS}{hC} \quad or \quad Q = \sqrt{\frac{2DS}{hC}}$$

12



Administración de la incertidumbre en una cadena de suministro: inventario de seguridad

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Comprender el rol del inventario de seguridad en una cadena de suministro.
2. Identificar los factores que influyen en el nivel requerido del inventario de seguridad.
3 Describir las diferentes medidas de disponibilidad del producto.
4. Utilizar los instrumentos administrativos disponibles para reducir el inventario de seguridad y mejorar la disponibilidad del producto.

En este capítulo analizamos la forma en que el inventario de seguridad puede ayudar a mejorar la disponibilidad de productos en una cadena de suministro ante la variabilidad de la oferta y la demanda. Analizamos diversas medidas de disponibilidad del producto y cómo pueden los administradores establecer los niveles del inventario de seguridad para proporcionar la disponibilidad de producto deseada. También exploramos lo que pueden hacer los gerentes para reducir la cantidad de inventario de seguridad requerido, al tiempo que se mantiene o incluso se mejora la disponibilidad del producto.

12.1 ROL DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

El *inventario de seguridad* es aquel que se mantiene para satisfacer la demanda que supera la cantidad pronosticada para un periodo determinado. El inventario de seguridad se mantiene porque la demanda es incierta y puede presentarse una escasez de productos si la demanda real supera la demanda pronosticada. Por ejemplo, Bloomingdale's es una gran tienda departamental de alto nivel que vende bolsas compradas a Gucci, un fabricante italiano. Dado el alto costo de transporte desde Italia, el gerente de la tienda en Bloomingdale's ordena en lotes de 600 bolsas. La demanda de bolsas en Bloomingdale's promedia 100 a la semana, y a Gucci le toma tres semanas entregar las bolsas a Bloomingdale's en respuesta a un pedido. Si no hay incertidumbre de la demanda y se venden exactamente 100 bolsas cada semana, el gerente de la tienda en Bloomingdale's puede realizar un pedido cuando a la tienda le queden exactamente 300 bolsas. En ausencia de incertidumbre de la demanda, esta política asegura que el nuevo lote llegue justo cuando se venda el último bolso en la tienda.

Sin embargo, dadas las fluctuaciones de la demanda y los errores de pronóstico, la demanda real durante las tres semanas puede ser superior o inferior a las 300 bolsas pronosticadas. Si la demanda real en Bloomingdale's es mayor que 300, algunos clientes no podrán comprar bolsas, lo que resultará en una pérdida potencial de margen para Bloomingdale's. Entonces, el gerente de la tienda decide hacerle un pedido a Gucci cuando la tienda aún cuenta con 400

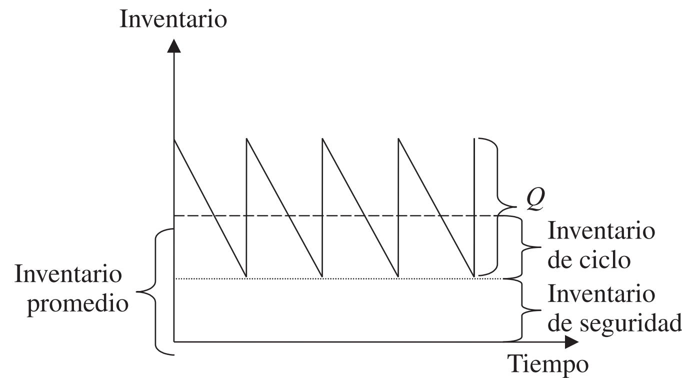


FIGURA 12-1 Perfil del inventario con inventario de seguridad.

bolsas. Esta política mejora la disponibilidad del producto para el cliente, porque ahora la tienda se queda sin bolsas sólo si la demanda durante tres semanas supera las 400. Dada una demanda promedio semanal de 100 bolsas, la tienda tendrá una media de 100 bolsas restantes cuando llegue el lote de reabastecimiento. El inventario de seguridad es el inventario promedio restante cuando llega el lote de reabastecimiento. Por lo tanto, Bloomingdale's mantiene un inventario de seguridad de 100 bolsas.

Dado un tamaño de lote $Q = 600$ bolsas, el inventario de ciclo, el tema central del capítulo anterior, es $Q/2 = 300$ bolsas. En la figura 12-1 se muestra el perfil del inventario en Bloomingdale's en presencia de un inventario de seguridad, el cual ilustra que el inventario promedio en Bloomingdale's es la suma de los inventarios de ciclo y de seguridad.

Este ejemplo ilustra la compensación que un gerente de una cadena de suministro debe tener en cuenta al planificar el inventario de seguridad. Por un lado, el aumento del nivel del inventario de seguridad aumenta la disponibilidad del producto y por lo tanto el margen captado a partir de las compras de los clientes. Por otro lado, el aumento del nivel del inventario de seguridad incrementa los costos de retención del inventario. Este problema es particularmente importante en las industrias en que los ciclos de vida de los productos son cortos y la demanda es volátil. La conservación de inventario excesivo puede ayudar a contrarrestar la volatilidad de la demanda, pero en realidad puede resultar dañino si se introducen nuevos productos en el mercado y se desvanece la demanda del producto en inventario. En ese caso, el inventario disponible se vuelve inútil.

En el entorno empresarial actual, se ha hecho más fácil para los clientes verificar en varias tiendas la disponibilidad del producto. Si Amazon no cuenta con un título, un cliente puede comprobar si en barnesandnoble.com está disponible. La mayor facilidad de búsqueda ejerce presión sobre las empresas para mejorar la disponibilidad del producto. Al mismo tiempo, la variedad de productos ha crecido con una mayor personalización. Como resultado, los mercados se han vuelto cada vez más heterogéneos y la demanda de productos individuales es inestable y difícil de pronosticar. Tanto el aumento en la variedad como la mayor presión en cuanto a la disponibilidad han empujado a las empresas a elevar su nivel del inventario de seguridad. Dada la variedad de productos y la gran incertidumbre de la demanda en la mayoría de las cadenas de suministro de alta tecnología, una fracción significativa del inventario retenido es inventario de seguridad.

Por otra parte, a medida que ha crecido la variedad de los productos, los ciclos de vida de éstos se han reducido. En consecuencia, es más probable que un producto que hoy está "de moda" mañana sea obsoleto, lo que incrementa el costo en que incurren las empresas por manejar demasiado inventario. Entonces, la clave para el éxito de toda la cadena de suministro es descubrir formas de reducir el nivel del inventario de seguridad retenido sin afectar el nivel de disponibilidad del producto.

La importancia de los inventarios de seguridad reducidos se destaca por la experiencia de Nordstrom, Macy's y Saks durante la recesión de 2008-2009. Nordstrom superó a las otras dos cadenas moviendo sus inventarios aproximadamente dos veces más rápido que sus competidores. En 2008 (2009), Nordstrom conservó un promedio de dos (2) meses, Macy´s alrededor de 4 (4.15), y Saks 4.24 (4.67) meses de inventario. Una de las claves para el éxito de Nordstrom fue su capacidad de proporcionar un alto nivel de disponibilidad de sus productos a los clientes mientras conservaba bajos niveles de inventario de seguridad en su cadena de

suministro. Este hecho también desempeñó un rol importante en el éxito de Zara, Walmart y Seven-Eleven Japan.

Para cualquier cadena de suministro, deben tenerse en cuenta tres preguntas clave para la planificación del inventario de seguridad:

1. ¿Cuál es el nivel adecuado de disponibilidad de productos?
2. ¿Cuánto inventario de seguridad se necesita para el nivel deseado de disponibilidad de productos?
3. ¿Qué medidas pueden tomarse para mejorar la disponibilidad de los productos y reducir el inventario de seguridad?

La primera pregunta se analiza detalladamente en el capítulo 13. El resto de este capítulo se centra en responder la segunda y tercera peguntas, suponiendo un nivel deseado de disponibilidad de productos. A continuación consideramos los factores que influyen en el nivel adecuado del inventario de seguridad.

12.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL ADECUADO DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD

El nivel adecuado del inventario de seguridad lo determinan los dos factores siguientes:

- La incertidumbre de la demanda y la oferta.
- El nivel deseado de disponibilidad de productos.

A medida que crece la incertidumbre de la oferta o de la demanda, aumenta el nivel requerido de los inventarios de seguridad. Considere la venta de teléfonos inteligentes en Office Supplies B & M. Cuando se introduce un nuevo modelo de teléfono inteligente, la demanda es muy incierta. Por lo tanto, B & M conserva un nivel alto del inventario de seguridad respecto a la demanda. Conforme la reacción del mercado al nuevo modelo se vuelve más clara, la incertidumbre se reduce y la demanda es más fácil de predecir. En ese punto B & M puede reducir el nivel del inventario de seguridad en relación con la demanda.

A medida que aumenta el nivel deseado de disponibilidad del producto, el nivel requerido del inventario de seguridad también se incrementa. Si B & M se fija un mayor nivel de disponibilidad del producto para el nuevo modelo de teléfono, debe alcanzar un mayor nivel de inventario de seguridad para ese modelo.

A continuación analizamos algunas formas de medir la incertidumbre de la demanda.

Medición de la incertidumbre de la demanda

Como se explicó en el capítulo 7, la demanda tiene un componente sistemático y otro aleatorio. El objetivo del pronóstico es predecir el componente sistemático y estimar el componente aleatorio. Éste se suele calcular como la desviación estándar del error de pronóstico. Suponemos las siguientes entradas para la demanda:

D: Demanda promedio por periodo

σ_D: Desviación estándar de la demanda (error de pronóstico) por periodo

Por ahora suponemos que la demanda semanal para el teléfono en B & M tiene una distribución normal, con una media de D y una desviación estándar de σ_D. A pesar de que la desviación estándar de la demanda no es necesariamente igual al error de pronóstico, en este análisis los tratamos como intercambiables. Los cálculos del inventario de seguridad deben basarse realmente en el error de pronóstico.

Tiempo de espera es el periodo entre el momento de hacer un pedido y el instante en que se recibe. En nuestro análisis indicamos el tiempo de espera por L. En el ejemplo de B & M, L es el tiempo entre el momento en que B & M ordena los teléfonos y el instante en que se entregan. En este caso, B & M está expuesto a la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de espera. La capacidad de B & M para satisfacer toda la demanda de inventario dependerá de la demanda de teléfonos que se experimente durante el tiempo de espera y del inventario que tenía B & M al momento de colocar la orden de reabastecimiento. Por lo tanto, B & M debe estimar la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de espera, no para un solo periodo. A continuación evaluamos la distribución de la demanda durante L periodos, dada la distribución de la demanda durante cada uno de ellos.

EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA DURANTE *L* PERIODOS Suponga que la demanda para cada periodo i, $i = 1,..., L$ se distribuya normalmente con una media D_i y una desviación estándar si. Sea $\sigma_{i.}$ el

coeficiente de correlación de la demanda entre los periodos *i* y *j*. En este caso la demanda total durante los *L* periodos se distribuye normalmente con una media D_L y una desviación estándar de σ_L, donde se cumple lo siguiente:

$$D_L = \sum_{i=1}^{L} D_i \quad \sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^{L} \sigma_i^2 + 2\sum_{i>j} \rho_{ij}\sigma_i\sigma_j} \tag{12.1}$$

La demanda en dos periodos está perfectamente correlacionada de manera positiva si $\rho_{ij} = 1$. La demanda en dos periodos está perfectamente correlacionada de manera negativa si $\rho_{ij} = -1$. La demanda en dos periodos es independiente si $\rho_{ij} = 0$. Suponga que la demanda en cada uno de los *L* periodos es independiente y está normalmente distribuida con una media *D* y una desviación estándar σ_D. Con base en la ecuación 12.1 se encuentra que la demanda total durante los *L* periodos tiene una distribución normal con media D_L y desviación estándar σ_L, donde se cumple lo siguiente:

$$D_L = D^* L \quad \sigma_L = \sqrt{L}\sigma_D \tag{12.2}$$

Otra medida importante de incertidumbre es el coeficiente de variación (*cv*), que es la relación de la desviación estándar sobre la media. Dada la demanda con una media μ y una desviación estándar σ, se tiene

$$cv = \sigma/\mu$$

El coeficiente de variación mide la magnitud de la incertidumbre en relación con la demanda. Capta el hecho de que un producto con una demanda media de 100 y una desviación estándar de 100 tiene mayor incertidumbre en la demanda que un producto con una demanda media de 1,000 y una desviación estándar de 100. Si se considera la desviación estándar por sí sola, no es posible captar esta diferencia.

A continuación analizamos algunas medidas de la disponibilidad del producto.

Medición de la disponibilidad del producto

La disponibilidad del producto refleja la capacidad de una empresa para satisfacer un pedido de un cliente sin el inventario disponible. Si un pedido de un cliente llega cuando el producto no se encuentra disponible se presenta una *falta de existencias*. Existen varias maneras de medir la disponibilidad del producto. A continuación se enuncian algunas de las medidas principales.

1. La ***tasa de satisfacción del producto (fr)*** es la fracción de la demanda del producto que se satisface con el producto en inventario. La tasa de satisfacción es equivalente a la probabilidad de que la demanda del producto se satisfaga a partir de un inventario disponible. La tasa de satisfacción debe medirse con base en una cantidad determinada de la demanda en vez de en tiempo. Por lo tanto, es más apropiado medir la tasa de satisfacción sobre cada millón de unidades de demanda en lugar de en cada mes. Suponga que B & M proporciona teléfonos inteligentes a 90% de sus clientes usando su inventario, con el restante 10% perdido en favor de un competidor vecino debido a la falta de inventario disponible. En este caso B & M alcanza una tasa de satisfacción de 90%.

2. La ***tasa de satisfacción de pedidos*** es la fracción de pedidos que se satisfacen usando el inventario disponible. La tasa de satisfacción de pedidos también debe medirse sobre un número determinado de órdenes en vez de sobre el tiempo. En un escenario con múltiples productos, un pedido se satisface a partir del inventario sólo si todos los productos en el pedido pueden suministrarse usando el inventario disponible. En el caso de B & M, un cliente puede pedir un teléfono junto con una computadora portátil. El pedido se satisface a partir del inventario sólo si tanto el teléfono como la computadora están disponibles en la tienda. Las tasas de satisfacción de pedidos tienden a ser menores que las tasas de satisfacción del producto debido a que, para que un pedido pueda satisfacerse, todos los productos deben estar disponibles en stock.

3. El ***nivel de servicio del ciclo (CSL)*** es la fracción de ciclos de reabastecimiento que terminan cuando se ha satisfecho toda la demanda de los clientes. Un *ciclo de reabastecimiento* es el intervalo entre dos entregas de reabastecimiento sucesivas. El CSL es igual a la probabilidad de no tener una falta de existencias en un ciclo de reabastecimiento. El CSL debe medir más de un número determinado de ciclos de reabastecimiento. Si B & M ordena un lote de reabastecimiento de 600 teléfonos, el intervalo entre la llegada de dos lotes de reabastecimiento sucesivos es un ciclo de reabastecimiento. Si el gerente de B & M administra el inventario de tal manera que la tienda no se quede sin inventario en 6 de cada 10 ciclos de reabastecimiento, la tienda alcanza un CSL de 60%.

Observe que un CSL de 60% da lugar típicamente a una tasa de satisfacción mucho más alta. En 60% de los ciclos en que B & M no se queda sin inventario, toda la demanda de los clientes se satisface con el inventario disponible. En 40% de los ciclos en que se produce una falta de existencias, la mayor parte de la demanda de los clientes se satisface a partir del inventario. Sólo se pierde la pequeña fracción hacia el final del ciclo, que llega después de que B & M se queda sin inventario. Como resultado, la tasa de satisfacción es mucho mayor que 60%.

La distinción entre la tasa de satisfacción del producto y la tasa de satisfacción de pedidos no suele ser importante en una situación en la que se maneja un solo producto. Sin embargo, cuando una empresa vende varios productos esta diferencia puede ser significativa. Por ejemplo, si la mayoría de los pedidos incluyen 10 o más productos que deban enviarse, una situación de falta de existencias de un producto impide que el pedido pueda satisfacerse con el inventario existente. En este caso, la empresa puede tener una tasa de satisfacción de pedidos baja a pesar de tener una buena tasa de satisfacción del producto. El seguimiento de las tasas de satisfacción de pedidos es importante cuando los clientes le dan un gran valor al cumplimiento de la orden completa en forma simultánea.

A continuación describimos dos políticas de reabastecimiento de uso frecuente en la práctica.

Políticas de reabastecimiento

Una política de reabastecimiento consiste en las decisiones respecto a cuándo y cuánto reordenar. Estas decisiones determinan los inventarios de ciclo y de seguridad, junto con la tasa de satisfacción *fr* y el nivel de servicio del ciclo CSL. Las políticas de reabastecimiento pueden adoptar varias formas. Aquí se restringe la atención a dos tipos:

1. *Revisión continua:* El inventario se inspecciona continuamente y se coloca un pedido con un tamaño de lote Q cuando el inventario disminuye al punto de hacer un nuevo pedido (ROP, *reorder point*). Como ejemplo, considere al gerente de la tienda B & M que inspecciona continuamente el inventario de teléfonos. Pide 600 teléfonos cuando el inventario cae por debajo del ROP = 400. En este caso, el tamaño del pedido no cambia de un pedido al siguiente. El tiempo entre los pedidos puede fluctuar dada la demanda variable.

2. *Revisión periódica:* El estado del inventario se inspecciona a intervalos regulares y se hace un pedido para elevar el nivel de inventario hasta un umbral especificado. Como ejemplo, considere la compra de película en B & M. El gerente de la tienda no hace un seguimiento continuo del inventario de película. Cada jueves los empleados comprueban el inventario de película, y el gerente ordena lo suficiente para que el total del inventario existente disponible y el tamaño del pedido sumen 1,000 películas. En este caso, el tiempo entre los pedidos es fijo. Sin embargo, el tamaño de cada pedido puede fluctuar dada la demanda variable.

Estas políticas de inventario no son exhaustivas, pero bastan para ilustrar los principales aspectos administrativos concernientes a los inventarios de seguridad.

Evaluación del nivel de servicio del ciclo y de la tasa de satisfacción dada una política de reabastecimiento

Ahora analizamos los procedimientos de evaluación del CSL y la *fr* dada una política de reabastecimiento. En esta sección restringimos la atención a la política de revisión continua. La política de revisión periódica se estudia con detalle en la sección 12.5. La política de revisión continua consta de un tamaño de lote Q ordenado cuando el inventario disponible disminuye hasta el ROP. Suponga que la demanda semanal se distribuye normalmente, con media D y desviación estándar σ_D. Suponga un tiempo de espera de L semanas para el reabastecimiento.

EVALUACIÓN DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD DADA UNA POLÍTICA DE REABASTECIMIENTO En el caso de B & M, el inventario de seguridad corresponde al número promedio de teléfonos disponibles cuando llega una orden de reabastecimiento. Dado el tiempo de espera de L semanas y una demanda media semanal D, con base en la ecuación 12.2, tenemos

$$\text{Demanda esperada durante el tiempo de espera} = D^*L$$

Como el gerente de la tienda hace un pedido de reabastecimiento cuando los teléfonos disponibles están en el ROP, tenemos

$$\text{Inventario de seguridad, } ss = PRP - DL \qquad \textbf{(12.3)}$$

Esto es porque, en promedio, se venderán D^*L teléfonos en las L semanas que transcurren entre el momento en que se realiza el pedido y cuando llega el lote. Así, el inventario promedio cuando llega el lote de reabastecimiento será ROP $- D^*L$. En el ejemplo 12-1 se describe la evaluación del inventario de seguridad para una política de inventarios dada.

EJEMPLO 12-1 Evaluación del inventario de seguridad dada una política de inventario

Suponga que la demanda semanal de teléfonos en la tienda de artículos de oficina B & M tiene una distribución normal, con una media de 2,500 y una desviación estándar de 500. Al fabricante le lleva dos semanas entregar un pedido hecho por el gerente de B & M. El gerente de la tienda ordena actualmente 10,000 teléfonos cuando el inventario disponible se reduce a 6,000. Evalúe el inventario de seguridad y el inventario promedio que mantiene B & M. Evalúe también el tiempo promedio que pasa un teléfono en B & M.

Análisis:

Bajo esta política de reabastecimiento, tenemos

Demanda promedio por semana, $D = 2{,}500$
Desviación estándar de la demanda semanal, $\sigma_D = 500$
Tiempo de espera promedio para el reabastecimiento, $L = 2$ semanas
Punto de reorden, ROP = 6,000
Tamaño de lote promedio, $Q = 10{,}000$

Así, con base en la ecuación 12.3, tenemos

$$\text{Inventario de seguridad, } ss = \text{ROP} - D{*}L = 6{,}000 - 5{,}000 = 1{,}000$$

Por lo tanto, B & M conserva un inventario de seguridad de 1,000 teléfonos. Del capítulo 11, recuerde que

$$\text{Inventario de ciclo} = Q/2 = 10{,}000/2 = 5{,}000$$

Por lo que tenemos

$$\text{Inventario promedio} = \text{inventario de ciclo} + \text{inventario de seguridad} = 5{,}000 + 1{,}000 = 6{,}000$$

Por consiguiente, B & M conserva un promedio de 6,000 teléfonos en inventario. Si usamos la ley de Little (ecuación 3.1), tenemos

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \text{inventario promedio/rendimiento} = 6000/2500 = 2.4 \text{ semanas}$$

Entonces, cada teléfono pasa un promedio de 2.4 semanas en B & M.

A continuación analizamos cómo evaluar el CSL dada una política de reabastecimiento.

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DEL CICLO DADA UNA POLÍTICA DE REABASTECIMIENTO

Dada una política de reabastecimiento, el objetivo es evaluar el CSL, la probabilidad de no quedarse sin existencias en un ciclo de reabastecimiento. De regreso a la política de revisión continua en B & M para los pedidos de reabastecimiento de Q unidades cuando el inventario en existencia cae hasta el ROP. El tiempo de espera es de L semanas y la demanda semanal se distribuye normalmente con una media D y una desviación estándar σ_D. Note que una falta de existencias en un ciclo se produce si la demanda durante el tiempo de espera es mayor que el ROP. De modo que tenemos

$$\text{CSL} = \text{Prob(demanda durante tiempo de espera de } L \text{ semanas} \leq \text{ROP)}$$

Para evaluar esta probabilidad necesitamos obtener la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega. A partir de la ecuación 12.2 se sabe que la demanda durante el tiempo de espera se distribuye normalmente con una media D_L y una desviación estándar σ_L. Si se usa la notación para la distribución normal del apéndice 12A y la función equivalente en Excel para la ecuación 12.21 en el apéndice 12B, el CSL es

$$\text{CSL} = F(\text{ROP}, D_L, \sigma_L) = NORMDIST(\text{ROP}, D_L, \sigma_L, 1) \quad \textbf{(12.4)}$$

A continuación, en el ejemplo 12-2 ilustramos esta evaluación.

EJEMPLO 12-2 Evaluación del nivel de servicio del ciclo dada una política de reabastecimiento

La demanda semanal de teléfonos en B & M tiene una distribución normal con una media de 2,500 y una desviación estándar de 500. El tiempo de reabastecimiento es de dos semanas. Suponga que la demanda es independiente de una semana a la siguiente. Evalúe el CSL como resultado de una política de pedidos de 10,000 teléfonos cuando hay 6,000 teléfonos en inventario.

Análisis:
En este caso tenemos

$$Q = 10{,}000,\ \text{ROP} = 6{,}000,\ L = 2\,\text{semanas}$$
$$D = 2{,}500/\text{semana},\ \sigma_D = 500$$

Observe que B & M corre el riesgo de quedarse sin existencias durante el tiempo de espera de dos semanas entre el momento en que hace un pedido y el instante en que llega el reabastecimiento. Por lo tanto, la ocurrencia de un desabasto depende de la demanda durante el tiempo de espera de dos semanas.

Como la demanda es independiente a través del tiempo, utilizamos la ecuación 12.2 para obtener la demanda durante el tiempo de espera, la cual se distribuye normalmente con una media de D_L y una desviación estándar de σ_L, donde

$$D_L = D^* L = 2 \times 2{,}500 = 5{,}000 \quad \sigma_L = \sqrt{L}\sigma_D = \sqrt{2} \times 500 = 707$$

Con base en la ecuación 12.4, el CSL se evalúa como

$$\begin{aligned}\text{CSL} &= F(\text{ROP}, D_L, \sigma_L) = NORMDIST(\text{ROP}, D_L, \sigma_L, 1)\\ &= NORMDIST(6{,}000, 5{,}000, 707, 1) = 0.92\end{aligned}$$

Un CSL de 0.92 implica que en 92% de los ciclos de reabastecimiento B & M proporciona toda la demanda de inventario disponible. En el 8% restante de los ciclos se presenta desabasto y no es posible satisfacer una parte de la demanda por la falta de inventario.

A continuación analizamos la evaluación de la tasa de satisfacción dada una política de reabastecimiento.

EVALUACIÓN DE LA TASA DE SATISFACCIÓN DADA UNA POLÍTICA DE REABASTECIMIENTO Recuerde que la tasa de satisfacción mide la proporción de la demanda de los clientes que se satisface usando el inventario disponible. Por lo general, la tasa de satisfacción es una medida más relevante que el nivel de servicio del ciclo, puesto que permite al minorista estimar la fracción de la demanda que se convierte en ventas. Las dos medidas están estrechamente relacionadas; a medida que aumenta el nivel de servicio del ciclo también se incrementa la tasa de satisfacción de una empresa. Aquí centramos el análisis en la evaluación de la tasa de satisfacción para una política de revisión continua bajo la cual se ordenan Q unidades cuando la cantidad disponible cae hasta el ROP.

Para evaluar la tasa de satisfacción, es importante entender el proceso por el cual se produce una falta de existencias durante un ciclo de reabastecimiento. La falta de existencias se produce si la demanda durante el tiempo de espera supera el ROP. Entonces necesitamos evaluar la cantidad promedio de la demanda que excede al ROP en cada ciclo de reabastecimiento.

La *escasez esperada por ciclo de reabastecimiento* (ESC, *Expected Shortage per replenishment Cycle*) son las unidades promedio de demanda que no se satisfacen usando el inventario en existencia por ciclo de reabastecimiento. Dado un tamaño de lote Q (que es también la demanda promedio en un ciclo de *reabastecimiento*), por consiguiente la fracción de la demanda perdida es ESC/Q. Entonces, la tasa de satisfacción del producto fr está dada por

$$fr = 1 - \text{ESC}/Q = (Q - \text{ESC})/Q \tag{12.5}$$

La escasez se produce en un ciclo de reabastecimiento sólo si la demanda durante el tiempo de espera supera el ROP. Sea $f(x)$ la función de densidad de la distribución de la demanda durante el tiempo de espera. La ESC está dada por

$$\text{ESC} = \int_{x=\text{ROP}}^{\infty} (x - \text{ROP}) f(x)dx \tag{12.6}$$

Cuando la demanda durante el tiempo de espera se distribuye normalmente con media D_L y desviación estándar σ_L, dado un inventario de seguridad ss, la ecuación 12.6 puede simplificarse como

$$ESC = -ss\left[1 - F_s\left(\frac{ss}{\sigma_L}\right)\right] + \sigma_L f_s\left(\frac{ss}{\sigma_L}\right) \quad \textbf{(12.7)}$$

donde F_s es la función de distribución normal estándar acumulativa y f_s es la función de densidad normal estándar. La distribución normal estándar tiene una media de 0 y una desviación estándar de 1. En el apéndice 12A se da una descripción detallada de la distribución normal. Los detalles de la simplificación en la ecuación 12.7 se describen en el apéndice 12C. Si se usan las funciones de Excel (ecuaciones 12.24 y 12.25) que se analizan en el apéndice 12B, la ESC puede evaluarse (mediante la ecuación 12.7) como

$$\begin{aligned} ESC &= -ss[1 - NORMDIST(ss/\sigma_L, 0, 1, 1)] \\ &\quad + \sigma_L NORMDIST(ss/\sigma_L, 0, 1, 0) \end{aligned} \quad \textbf{(12.8)}$$

En vista de la ESC, podemos utilizar la ecuación 12.5 para evaluar la tasa de satisfacción *fr*. Enseguida ilustramos esta evaluación en el ejemplo 12-3.

EJEMPLO 12.3 Evaluación de la tasa de satisfacción dada una política de reabastecimiento

Del ejemplo 12-2 recuerde que la demanda semanal de teléfonos en B & M se distribuye normalmente, con una media de 2,500 y una desviación estándar de 500. El tiempo de reabastecimiento es de dos semanas. Suponga que la demanda es independiente de una semana a la siguiente. Evalúe la tasa de satisfacción resultante de la política de pedidos consistente en ordenar 10,000 teléfonos cuando hay 6,000 en inventario.

Análisis:

A partir del análisis del ejemplo 12-2 tenemos

Tamaño del lote, $Q = 10{,}000$

Demanda promedio durante el tiempo de espera, $D_L = 5{,}000$

Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, $\sigma_L = 707$

Si se usa la ecuación 12.3, obtenemos

$$\text{Inventario de seguridad, } ss = \text{ROP} - D_L = 6{,}000 - 5{,}000 = 1{,}000$$

A partir de la ecuación 12.8, entonces tenemos

$$\begin{aligned} ESC &= -1{,}000[1 - NORMDIST(1{,}000/707, 0, 1, 1)] \\ &\quad + 707\, NORMDIST(1{,}000/707, 0, 1, 0) = 25 \end{aligned}$$

Por lo tanto, en promedio, en cada ciclo de *reabastecimiento*, los clientes demandan 25 teléfonos que no están disponibles en el inventario. Así, con base en la ecuación 12.5, obtenemos la siguiente tasa de satisfacción:

$$fr = (Q - \text{ESC})/Q = (10{,}000 - 25)/10{,}000 = 0.9975$$

En otras palabras, 99.75% de la demanda se satisface usando el inventario disponible. Esto es mucho más alto que el CSL de 92% que resultó en el ejemplo 12-2 para la misma política de reabastecimiento.

Todos los cálculos para el ejemplo 12-3 pueden hacerse fácilmente en Excel, como se muestra en la figura 12-2.

Es necesario realizar algunas observaciones clave. Primero, observe que la tasa de satisfacción (0.9975) en el ejemplo 12-3 es significativamente mayor que el CSL (0.92) en el ejemplo 12-2 para la misma política de reabastecimiento. Enseguida, al resolver de nuevo los ejemplos con un tamaño de lote diferente, observamos el efecto de los cambios del tamaño de lote en el nivel de servicio. Un aumento en el tamaño de lote de teléfonos de 10,000 a 20,000 no tiene efecto en el CSL (que se mantiene en 0.92). Por otra parte, la tasa de satisfacción

	A	B	C	D	E
1	*Entradas*				
2	*Q*	*D*	σ_D	*L*	*ss*
3	10,000	2,500	500	2	1,000
4	*Distribución de la demanda durante el tiempo de espera*				
5	D_L	σ_L			
6	5,000	707			
7	*Nivel de servicio del ciclo y tasa de satisfacción*				
8	*CSL*	*ESC*	*fr*		
9	0.92	25.13	0.9975		

Celda	Fórmula en la celda	Ecuación
A6	=B3*D3	12.2
B6	=SQRT(D3)*C3	12.2
A9	=NORMDIST(A6+E3, A6, B6, 1)	12.4
B9	=-E3*(1-NORMDIST(E3/B6, 0, 1, 1)) + B6*NORMDIST(E3/B6, 0, 1, 0)	12.8
C9	=(A3-B9)/A3	12.5

FIGURA 12-2 Solución del ejemplo 12-3 en Excel.

ahora aumenta a 0.9987. Esto se debe a que un aumento en el tamaño del lote resulta en un menor número de ciclos de reabastecimiento. En el caso de B & M, un aumento del tamaño de lote de 10,000 a 20,000 hace que el reabastecimiento ocurra una vez cada ocho semanas en vez de una vez cada cuatro. Con 92% de CSL, un tamaño de lote de 10,000 resulta, en promedio, en un ciclo con desabasto por año. Con un tamaño de lote de 20,000 tenemos, en promedio, un desabasto cada dos años. Por lo tanto, la tasa de satisfacción es mayor.

Punto clave

Tanto la tasa de satisfacción como el nivel de servicio del ciclo aumentan a medida que se incrementa el inventario de seguridad. Para un mismo inventario de seguridad, el aumento del tamaño del lote incrementa la tasa de satisfacción, pero no el nivel de servicio del ciclo.

Ahora analizamos cómo puede obtenerse el nivel adecuado del inventario de seguridad dados un CSL o una tasa de satisfacción deseados.

Evaluación del inventario de seguridad dados un nivel de servicio del ciclo o una tasa de satisfacción deseados

En muchas situaciones prácticas, las empresas tienen un nivel deseado de disponibilidad del producto y desean diseñar políticas de reabastecimiento que logren este nivel. Por ejemplo, Walmart tiene un nivel deseado de disponibilidad del producto para cada artículo que vende en una tienda. El gerente de la tienda debe diseñar una política de reabastecimiento con el nivel adecuado de inventario de seguridad para cumplir con este objetivo. El nivel deseado de disponibilidad del producto puede determinarse estableciendo una compensación entre el costo de retener inventario y el costo de un desabasto. Esta compensación se expone con detalle en el capítulo 13. En otros casos el nivel deseado de disponibilidad del producto (en términos de la tasa de satisfacción o del CSL) se establece explícitamente en los contratos, y la gerencia debe diseñar políticas de reabastecimiento que logren el objetivo deseado.

EVALUACIÓN DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD REQUERIDO DADO UN NIVEL DE SERVICIO DEL CICLO DESEADO El objetivo es obtener el nivel adecuado del inventario de seguridad dado un CSL deseado. Supongamos que se sigue un sistema de reabastecimiento continuo. Considere que el gerente de la tienda de Walmart es responsable de diseñar las políticas de reabastecimiento de todos los productos en la tienda. Ha establecido un

CSL deseable para la caja básica de bloques de construcción Lego. Dado un tiempo de entrega L, el gerente de la tienda quiere identificar un punto ROP de reorden y un inventario de seguridad adecuados que consigan el nivel de servicio deseado. Suponga que la demanda de Legos en Walmart se distribuye normalmente y que es independiente de una semana a la siguiente. Supongamos las siguientes entradas:

Nivel de servicio del ciclo deseado = CSL
Demanda promedio durante el tiempo de espera = D_L
Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera = σ_L

De la ecuación 12.3, recuerde que ROP = $D_L + ss$. El gerente de la tienda debe identificar un inventario de seguridad ss de tal forma que se cumpla lo siguiente:

$$\text{Probabilidad (demanda durante el tiempo de entrega} \le D_L + ss) = CSL$$

Dado que la demanda sigue una distribución normal (usando la ecuación 12.4), el gerente debe identificar el inventario seguridad ss que cumpla lo siguiente:

$$F(D_L + ss, D_L, \sigma_L) = CSL$$

Dada la definición de la normal inversa en el apéndice 12A y la función equivalente en Excel del apéndice 12B, obtenemos

$$D_L + ss = F^{-1}(CSL, D_L, \sigma_L) = NORMINV(CSL, D_L, \sigma_L)$$
$$\text{o} \quad ss = F^{-1}(CSL, D_L, \sigma_L) - D_L = NORMINV(CSL, D_L, \sigma_L) - D_L$$

Usando la definición de la distribución normal estándar y su inversa del apéndice 12A, así como la función equivalente en Excel del apéndice 12B, también es posible demostrar que se cumple lo siguiente:

$$ss = F_S^{-1}(CSL) \times \sigma_L = F_S^{-1}(CSL) \times \sqrt{L}\sigma_D = NORMSINV(CSL) \times \sqrt{L}\sigma_D \qquad \textbf{(12.9)}$$

En el ejemplo 12-4 ilustramos la evaluación del inventario de seguridad dado un CSL deseado.

EJEMPLO 12-4 Evaluación del inventario de seguridad dado un nivel de servicio del ciclo deseado

La demanda semanal de Legos en la tienda Walmart tiene una distribución normal, con una media de 2,500 cajas y una desviación estándar de 500. El tiempo de reabastecimiento es de dos semanas. Si asume una política de reabastecimiento con revisión continua, evalúe el inventario de seguridad que debe mantener la tienda para conseguir un CSL de 90%.

Análisis:

En este caso tenemos

Q = 10,000, CSL = 0.9, L = 2 semanas
D = 2,500/semana, σ_D = 500

Como la demanda a través del tiempo es independiente, utilizamos la ecuación 12.2 para encontrar la demanda durante el tiempo de espera, la cual se debe distribuir normalmente con una media D_L y una desviación estándar σ_L, donde

$$D_L = D^* L = 2 \times 2{,}500 = 5{,}000 \quad \sigma_L = \sqrt{L}\sigma_D = \sqrt{2} \times 500 = 707$$

Utilizando la ecuación 12.9 obtenemos

$$ss = F_s^{-1}(CSL) \times \sigma_L = NORMSINV(CSL) \times \sigma_L = NORMSINV(0.90) \times 707 = 906$$

Por lo tanto, el inventario de seguridad requerido para lograr un CSL de 90% es de 906 cajas.

EVALUACIÓN DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD REQUERIDO DADA UNA TASA DE SATISFACCIÓN DESEADA Ahora evaluamos el inventario de seguridad requerido dada una tasa de satisfacción *fr* deseada y el hecho de que se sigue una política de reabastecimiento con revisión continua. Considere que el gerente de la tienda de Walmart desea lograr una tasa de satisfacción *fr* para los bloques de construcción Lego. El tamaño actual del lote de reabastecimiento es *Q*. El primer paso consiste en obtener la ESC usando la ecuación 12.5. La escasez esperada por ciclo de reabastecimiento es

$$\text{ESC} = (1 - fr)Q$$

El siguiente paso es obtener un inventario de seguridad *ss* que resuelva la ecuación 12.7 (y su equivalente en Excel, la ecuación 12.8) dada la ESC evaluada anteriormente. No es posible dar una fórmula que proporcione la respuesta. El inventario de seguridad adecuado que resuelve la ecuación 12.8 puede obtenerse fácilmente usando Excel y probando diferentes valores de *ss*. En Excel, el inventario de seguridad también puede obtenerse directamente utilizando la herramienta *GOALSEEK*, como se muestra en el ejemplo 12-5.

EJEMPLO 12-5 Evaluación del inventario de seguridad dada una tasa de satisfacción deseada

La demanda semanal de Legos en una tienda Walmart tiene una distribución normal, con una media de 2,500 cajas y una desviación estándar de 500. El tiempo de reabastecimiento es de dos semanas. El gerente de la tienda ordena actualmente lotes de reabastecimiento de 10,000 cajas de Lego. Si se supone una política de reabastecimiento con revisión continua, evalúe el inventario de seguridad que debe mantener la tienda para lograr una tasa de satisfacción de 97.5%.

Análisis:

En este caso tenemos

Tasa de satisfacción deseada, $fr = 0.975$

Tamaño del lote, $Q = 10{,}000$ cajas

Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, $\sigma_L = 707$

Así, de la ecuación 12.5 obtenemos una ESC como

$$\text{ESC} = (1 - fr)Q = (1 - 0.975)10{,}000 = 250$$

Ahora debemos resolver la ecuación 12.7 para el inventario de seguridad *ss*, donde

$$\text{ESC} = 250 = -ss\left[1 - F_s\left(\frac{ss}{\sigma_L}\right)\right] + \sigma_L f_s\left(\frac{ss}{\sigma_L}\right) = -ss\left[1 - F_s\left(\frac{ss}{707}\right)\right] + 707 f_s\left(\frac{ss}{707}\right)$$

Con base en la ecuación 12.8, esta ecuación puede reformularse con funciones de Excel de la siguiente manera:

$$250 = -ss[1 - NORMDIST(ss/707, 0, 1, 1)] + 707NORMDIST(ss/707, 0, 1, 0) \quad \textbf{(12.10)}$$

La ecuación 12.10 puede resolverse en Excel probando diferentes valores de *ss* hasta que la ecuación se cumpla. Un enfoque más elegante para resolver la ecuación 12.10 consiste en utilizar la herramienta *GOALSEEK* de Excel de la manera siguiente.

Primero configure la hoja de cálculo como se muestra en la figura 12-3, donde la celda D3 puede tener cualquier valor para el inventario de seguridad ss.

Invoque *GOALSEEK* usando Data|What-If Analysis|Goal Seek. En el cuadro de diálogo *GOALSEEK* introduzca los datos como se muestra en la figura 12-3 y haga clic en el botón OK. En este caso, la celda D3 se cambia hasta que el valor de la fórmula en la celda A6 sea igual a 250.

Con *GOALSEEK* obtenemos un inventario de seguridad $ss = 67$ cajas, como se muestra en la figura 12-3. Por lo tanto, el gerente de la tienda de Walmart debería establecer un inventario de seguridad de 67 cajas para conseguir la tasa de satisfacción deseada de 97.5%.

A continuación identificamos los factores que afectan el nivel requerido del inventario de seguridad.

	A	B	C	D
1	*Entradas*			*Variable*
2	*fr*	σ_L	*Q*	*ss*
3	0.975	707	10000	67
4	*Fórmula*			
5	*ESC*			
6	250			

Goal Seek

Set cell: A6

To value: 250

By changing cell: D3$

OK Cancel

Celda	Fórmula de la celda	Ecuación
A6	-D3*(1-NORMSDIST(D3/B3, 0, 1,1)) + B3*NORMDIST(D3/B3, 0, 1, 0)	12.10

FIGURA 12-3 Hoja de cálculo para encontrar el ss usando GOALSEEK.

Efecto de la disponibilidad del producto deseada y la incertidumbre en el inventario de seguridad

Los dos factores clave que afectan el nivel requerido del inventario de seguridad son el nivel deseado de disponibilidad de los productos y la incertidumbre. A continuación analizamos el efecto de cada factor en el inventario de seguridad.

A medida que la disponibilidad del producto deseada aumenta, el inventario de seguridad requerido también se incrementa debido a que la cadena de suministro ahora debe ser capaz de adaptarse a la demanda inusualmente alta o al suministro inusualmente bajo. Para la situación de Walmart en el ejemplo 5.12, evaluamos el inventario de seguridad requerido para los diferentes niveles de tasa de satisfacción, como se muestra en la tabla 12-1.

Observe que el aumento de la tasa de satisfacción de 97.5% a 98.0% requiere un inventario de seguridad adicional de 116 unidades, en tanto que para elevar la tasa de satisfacción de 99.0% a 99.5% se requiere un inventario de seguridad adicional de 268 unidades. Así, el incremento marginal en el inventario de seguridad crece a medida que aumenta la disponibilidad de los productos. Este fenómeno pone de relieve la importancia de la selección de los niveles adecuados de disponibilidad del producto. Es importante que el gerente de la cadena de suministro esté al tanto de los productos que requieren un alto nivel de disponibilidad y mantenga inventarios de seguridad altos sólo para esos productos. No resulta apropiado seleccionar un alto nivel de disponibilidad del producto y solicitarlo de manera arbitraria para todos los productos.

Punto clave

El inventario de seguridad requerido crece rápidamente con un aumento en la disponibilidad del producto deseada.

Tabla 12-1 Inventario de seguridad requerido para diferentes valores de tasa de satisfacción

Tasa de satisfacción	Inventario de seguridad
97.5%	67
98.0%	183
98.5%	321
99.0%	499
99.5%	767

En la ecuación 12.9, se observa que el inventario de seguridad *ss* requerido también se ve influenciado por la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, σ_L. La desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera está influenciada por la duración del tiempo de espera *L* y por la desviación estándar de la demanda periódica σ_D, como se muestra en la ecuación 12.2. La relación entre el inventario de seguridad y σ_D es lineal, de modo que un aumento de 10% en σ_D resultada en un incremento de 10% en el inventario de seguridad. El inventario de seguridad también aumenta con un incremento en el tiempo de entrega *L*. Por otra parte, el inventario de seguridad es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de espera (si la demanda es independiente en el tiempo) y, por lo tanto, crece más lentamente que el tiempo de espera en sí.

Punto clave

El inventario de seguridad requerido aumenta con un incremento en el tiempo de espera y en la desviación estándar de la demanda periódica.

Un objetivo de cualquier gerente de cadena de suministro es reducir el nivel del inventario de seguridad requerido de modo que no afecte negativamente la disponibilidad del producto. El análisis anterior pone de manifiesto dos instrumentos administrativos clave que pueden utilizarse para lograr este objetivo:

1. ***Reducir el tiempo de espera L del proveedor:*** Si el tiempo de entrega disminuye por un factor de *k*, el inventario de seguridad requerido disminuye en un factor de $\sqrt{k}$. La única advertencia aquí es que la reducción del tiempo de espera del proveedor requiere un esfuerzo significativo de éste, mientras que la reducción en el inventario de seguridad se da en el minorista. Por lo tanto, es importante que el minorista comparta algunos de los beneficios resultantes, como se describe en el capítulo 10. Walmart, Seven-Eleven Japan y muchos otros minoristas presionan fuertemente a sus proveedores a que reduzcan el tiempo de reabastecimiento. El minorista de ropa Zara ha construido toda su estrategia en torno al uso flexible de producción local para reducir los tiempos de espera de reabastecimiento. En cada caso, el beneficio se ha manifestado en la forma de un inventario de seguridad reducido mientras se mantiene el nivel deseado de disponibilidad de productos.

2. ***Reducir la incertidumbre subyacente de la demanda (representada por σ_D):*** Si σ_D se reduce por un factor de *k*, el inventario de seguridad requerido también disminuye por un factor de *k*. Una reducción en la σ_D puede lograrse con una mejor información sobre el mercado y el uso de métodos más sofisticados de pronóstico. Seven-Eleven Japan ofrece a sus gerentes de tienda datos detallados sobre la demanda histórica junto con el clima y otros factores que pueden influir en la demanda. Esta inteligencia de mercado permite que los gerentes de las tiendas hagan mejores pronósticos, reduciendo la incertidumbre. Sin embargo, en la mayoría de las cadenas de suministro, la clave para reducir la incertidumbre subyacente en el pronóstico es vincular todos los pronósticos a través de la cadena de suministro con los datos de demanda de los clientes. Gran parte de la incertidumbre de la demanda existe sólo porque cada etapa de la cadena de suministro planea y pronostica de forma independiente. Esto distorsiona la demanda a lo largo de la cadena de suministro, lo que aumenta la incertidumbre. La mejora de la coordinación, como explicamos en el capítulo 10, a menudo puede reducir la incertidumbre de la demanda de manera significativa. Zara planea su producción y reabastecimiento con base en las ventas realizadas en sus tiendas minoristas para asegurarse de que no se presenten incertidumbres innecesarias. Tanto Walmart como Seven-Eleven Japan comparten la información de la demanda con sus proveedores, lo que reduce la incertidumbre y por lo tanto el inventario de seguridad en la cadena de suministro.

En el ejemplo 12-6 ilustramos los beneficios de la reducción del tiempo de espera y de la incertidumbre de la demanda.

EJEMPLO 12-6 Beneficios de la reducción del tiempo de espera y de la incertidumbre de la demanda

La demanda semanal de camisetas blancas en una tienda Target tiene una distribución normal, con una media de 2,500 y una desviación estándar de 800. El tiempo de reabastecimiento del proveedor actual es de nueve semanas. El gerente de la tienda establece un nivel de servicio del ciclo deseado de 95%. ¿Qué ahorros en el

inventario de seguridad pueden esperarse en la tienda si el proveedor reduce el tiempo de espera a una semana? ¿Qué ahorros en el inventario de seguridad puede esperar la tienda si la incertidumbre de la demanda se reduce de modo que la desviación estándar de la demanda es de sólo 400?

Análisis:

Para el caso básico se tiene

$$D = 2{,}500/\text{semana},\ \sigma_D = 800,\ CSL = 0.95$$

Entonces, de la ecuación 12.9, obtenemos que el inventario de seguridad del caso básico ha de ser

$$ss = NORMSINV(CSL) \times \sqrt{L}\sigma_D = NORMSINV(.95) \times \sqrt{9} \times 800 = 3{,}948$$

Si el proveedor reduce el tiempo de espera L a una semana, el inventario de seguridad requerido está dado por

$$ss = NORMSINV(CSL) \times \sqrt{L}\sigma_D = NORMSINV(.95) \times \sqrt{1} \times 800 = 1{,}316$$

Por lo tanto, la reducción del tiempo de espera de nueve semanas a una semana reduce el inventario de seguridad requerido en 2,632 camisas.

Ahora se analizarán los beneficios de la reducción del error de pronóstico. Si Target reduce la desviación estándar de 800 a 400 (para el tiempo de espera de nueve semanas), el inventario de seguridad requerido se obtiene de la manera siguiente:

$$ss = NORMSINV(CSL) \times \sqrt{L}\sigma_D = NORMSINV(.95) \times \sqrt{9} \times 400 = 1{,}974$$

Por lo tanto, la reducción de la desviación estándar (igual al error de pronóstico) de la demanda desde 800 hasta 400 reduce el inventario de seguridad requerido en 1,974 camisetas.

12.3 EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE EN EL SUMINISTRO DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD

El análisis realizado hasta este punto se ha centrado en situaciones de incertidumbre de la demanda en la forma de un error de pronóstico. En muchas situaciones prácticas la incertidumbre del suministro también tiene un rol importante. El efecto de la incertidumbre del suministro se ilustra bien por medio del efecto de la llegada a tierra del barco *Napoli*, en la costa sur de Gran Bretaña en enero de 2007. El buque contenedor transportaba más de 1,000 toneladas de níquel, un componente clave del acero inoxidable. Si se tiene en cuenta que 1,000 toneladas era casi 20% de las 5,052 toneladas de níquel que en ese momento estaban almacenadas a nivel mundial en bodegas, el retraso en la entrega del níquel al mercado dio lugar a graves situaciones de escasez y a una elevación de 20% en el precio del níquel durante las primeras tres y media semanas de enero de 2007. La incertidumbre del suministro surge debido a muchos factores, como retrasos en la producción y en el transporte, así como problemas de calidad. Las cadenas de suministro deben tener en cuenta la incertidumbre durante la planificación de los inventarios de seguridad.

En esta sección incorporamos la incertidumbre del suministro suponiendo que el tiempo de espera es incierto, e identificamos el efecto de la incertidumbre del tiempo de espera en el inventario de seguridad. Suponga que la demanda de los clientes de computadoras Dell por periodo y el tiempo de reabastecimiento del proveedor de componentes se distribuyen normalmente. Proporcionamos las siguientes entradas:

D: Demanda promedio por periodo

σ_D: Desviación estándar de la demanda por periodo

L: Tiempo de espera promedio para el reabastecimiento

s_L: Desviación estándar del tiempo de espera

Consideramos los requisitos del inventario de seguridad dado que Dell sigue una política de revisión continua para administrar el inventario de componentes. Dell experimenta un desabasto de componentes si la demanda durante el tiempo de espera supera el ROP; es decir, la cantidad disponible cuando Dell hace un pedido de reabastecimiento. Por lo tanto, necesitamos identificar la distribución de la demanda de los clientes durante el tiempo de espera.

Puesto que tanto el tiempo de espera como la demanda periódica son inciertos, la demanda durante el tiempo de espera se distribuye normalmente con una media D_L y una desviación estándar σ_L, donde

$$D_L = D^*L \quad \sigma_L = \sqrt{L\sigma_D^2 + D^2 s_L^2} \tag{12.11}$$

Dada la distribución de la demanda durante el tiempo de espera en la ecuación 12.11 y un CSL deseado, Dell puede obtener el inventario de seguridad requerido utilizando la ecuación 12.9. Si la disponibilidad de producto se especifica como una tasa de satisfacción, Dell puede obtener el inventario de seguridad requerido usando el procedimiento descrito en el ejemplo 12-5. Ilustramos en el ejemplo 12-7 el efecto de la incertidumbre del tiempo de espera sobre el nivel requerido del inventario de seguridad en Dell.

EJEMPLO 12-7 Efecto de la incertidumbre del tiempo de espera sobre el inventario de seguridad

La demanda diaria de PC en Dell tiene una distribución normal, con una media de 2,500 y una desviación estándar de 500. Un componente clave en el ensamblaje de las PC es la unidad de disco duro. El proveedor de discos duros requiere un promedio de $L = 7$ días para reabastecer el inventario en Dell, empresa orientada a un CSL de 90% (que proporciona una tasa de satisfacción cercana a 100%) para su inventario de discos duros. Evalúe el inventario de seguridad de discos duros que Dell debe conservar si la desviación estándar del tiempo de espera es de siete días. Dell está trabajando con el proveedor para reducir a cero la desviación estándar. Evalúe la reducción del inventario de seguridad que puede esperar Dell como resultado de esta iniciativa.

Análisis:

En este caso tenemos

Demanda. promedio por periodo, $D = 2{,}500$
Desviación estándar de la demanda por periodo, $\sigma_D = 500$
Tiempo de espera medio para el reabastecimiento, $L = 7$ días
Desviación estándar del tiempo de espera, $s_L = 7$ días

Primero evaluamos la distribución de la demanda durante el tiempo de espera. Con base en la ecuación 12.11, tenemos

Demanda promedio durante el tiempo de espera, $D_L = D^*L = 2{,}500 \times 7 = 1{,}7500$

Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera $\sigma_L = \sqrt{L\sigma_D^2 + D^2 s_L^2}$

$$= \sqrt{7 \times 500^2 + 2{,}500^2 \times 7^2} = 17{,}550$$

El inventario de seguridad requerido se obtiene utilizando las ecuaciones 12.9 y 12.26 de la siguiente manera:

$$ss = F_S^{-1}(CSL) \times \sigma_L = NORMSINV(CSL) \times \sigma_L = NORMSINV(0.90) \times 17{,}550$$
$$= 22{,}491 \text{ unidades de disco duro}$$

Si la desviación estándar del tiempo de espera es de siete días, Dell debe conservar un inventario de seguridad de 22,491 unidades. Observe que esto es equivalente a unos nueve días de demanda de discos duros.

En la tabla 12-2 proporcionamos el inventario de seguridad requerido mientras Dell trabaja con el proveedor para reducir de seis a cero la desviación estándar del tiempo de espera (s_L). De la tabla 12-2, observe que la reducción de la incertidumbre en el tiempo de espera permite a Dell reducir su inventario de seguridad de discos duros en una cantidad significativa. A medida que la desviación estándar del tiempo de espera disminuye de siete días a cero, el tamaño del inventario de seguridad disminuye de aproximadamente nueve días de demanda a menos de un día de demanda.

El ejemplo anterior enfatiza el efecto de la variabilidad del tiempo de espera en los requerimientos del inventario de seguridad (y por lo tanto, en el tiempo de flujo del material) y los grandes beneficios potenciales por reducir la variabilidad del tiempo de espera o mejorar las entregas a tiempo. A menudo, los cálculos prácticos del inventario de seguridad no incluyen ninguna medida de la incertidumbre del suministro, lo que resulta en niveles que pueden ser inferiores a los requeridos. Lo anterior perjudica la disponibilidad de producto.

Tabla 12-2 Inventario de seguridad requerido en función de la incertidumbre del tiempo de espera

s_L	σ_L	*ss* (unidades)	*ss* (días)
6	15,058	19,298	7.72
5	12,570	16,109	6.44
4	10,087	12,927	5.17
3	7,616	9,760	3.90
2	5,172	6,628	2.65
1	2,828	3,625	1.45
0	1,323	1,695	0.68

Punto clave

Una reducción en la incertidumbre del suministro puede ayudar a disminuir drásticamente el inventario de seguridad requerido sin afectar la disponibilidad de producto.

De hecho, la variabilidad del tiempo de espera del suministro se debe tanto a las prácticas del proveedor como a las de la parte que recibe el pedido. En ocasiones, los proveedores tienen herramientas de planificación pobres que no les permiten programar la producción de una manera que pueda ser ejecutada. Actualmente la mayoría de los paquetes de software para la planificación de la cadena de suministro tienen buenas herramientas de planeación de la producción, las cuales permiten a los proveedores prometer tiempos de entrega que pueden cumplirse. Esto ayuda a reducir la variabilidad del tiempo de espera. En otros casos, el comportamiento de la parte que hace el pedido suele aumentar la variabilidad del tiempo de espera. En cierta ocasión, un distribuidor hizo pedidos a todos los proveedores en el mismo día de la semana. Como resultado, todas las entregas llegaron el mismo día. El aumento de las entregas hizo imposible que todas éstas pudieran registrarse en inventario el día de su llegada. Lo anterior condujo a una percepción de que los tiempos de espera del suministro eran largos y variables. Sólo con el balanceo de las órdenes durante la semana, el tiempo de entrega y la variabilidad del tiempo de espera se redujeron significativamente, lo que permitió al distribuidor reducir su inventario de seguridad.

Enseguida analizamos la forma en que la agregación puede ayudar a reducir el tamaño del inventario de seguridad en la cadena de suministro.

12.4 EFECTO DE LA AGREGACIÓN EN EL INVENTARIO DE SEGURIDAD

En la práctica las cadenas de suministro tienen diferentes grados de agregación del inventario. Por ejemplo, Barnes & Noble vende libros y música en tiendas minoristas con el inventario geográficamente distribuido en todo el país. Amazon, en cambio, envía todos sus libros y música desde unas cuantas instalaciones. Seven-Eleven Japan tiene muchas pequeñas tiendas de conveniencia densamente distribuidas en todo el país. En contraste, los supermercados tienden a ser mucho más grandes, con un menor número de puntos de venta que no están tan densamente distribuidos. Redbox alquila sus películas en decenas de miles de kioscos distribuidos en Estados Unidos. Por el contrario, Netflix centraliza su inventario de DVDs en menos de 60 centros de distribución.

Nuestro objetivo es entender cómo afecta la agregación en cada uno de estos casos a la precisión del pronóstico y a los inventarios de seguridad. Considere k regiones, donde la demanda en cada región se distribuye normalmente con las siguientes características:

D_i: Demanda promedio semanal en la región i, $i = 1,..., k$

σ_i: Desviación estándar de la demanda semanal en la región i, $i = 1,..., k$

r_{ij}: Correlación de la demanda semanal para las regiones i, j, $1 \leq i \neq j \leq k$

Hay dos maneras de satisfacer la demanda en las k regiones. Una consiste en tener inventarios locales para cada región y la otra en agregar todos los inventarios en una instalación centralizada. Nuestro objetivo es comparar los inventarios de seguridad en los dos casos. Con un tiempo de reabastecimiento L y un nivel de servicio del ciclo deseado CSL, el inventario de seguridad total en el caso descentralizado (usando la ecuación 12.9) es

$$\text{Inventario de seguridad total en la opción descentralizada} = \sum_{i=1}^{k} F_S^{-1}(CSL) \times \sqrt{L} \times \sigma_i \quad \textbf{(12.12)}$$

Si todos los inventarios se agregan en una ubicación central, necesitamos evaluar la distribución de la demanda agregada, la cual se distribuye normalmente, con una media D^C, una desviación estándar de σ_D^C y una varianza var(D^C) de la manera siguiente:

$$D^C = \textstyle\sum_{i=1}^{k} D_i; \quad \text{var}(D^C) = \displaystyle\sum_{i=1}^{k} \sigma_i^2 + 2\sum_{i>j} \rho_{ij}\sigma_i\sigma_j; \quad \sigma_D^C = \sqrt{\text{var}(D^C)} \quad \textbf{(12.13)}$$

Observe que la ecuación 12.13 es como la ecuación 12.1, excepto que se están agregando las k regiones en vez de los L periodos. Si todas las k regiones tienen una demanda que es independiente ($\rho_{ij} = 0$) y están idénticamente distribuidas, con una media D y una desviación estándar σ_D, la ecuación 12.13 puede simplificarse como

$$D^C = kD \quad \sigma_D^C = \sqrt{k}\sigma_D \quad \textbf{(12.14)}$$

Si se usan las ecuaciones 12.9 y 12.14, el inventario de seguridad requerido en la ubicación centralizada está dado por

$$\text{Inventario de seguridad requerido en la agregación} = F_S^{-1}(CSL) \times \sqrt{L} \times \sigma_D^C \quad \textbf{(12.15)}$$

Los ahorros en costos de retención en la agregación por unidad vendida se obtienen dividiendo los ahorros en costos de retención entre la demanda total kD. Si H es el costo de retención por unidad y se utilizan las ecuaciones 12.13 y 12.15, los ahorros por unidad son

Ahorros en costo de retención en la agregación por unidad vendida

$$= \frac{F_S^{-1}(CSL) \times \sqrt{L} \times H}{D^C} \times \left(\sum_{i=1}^{k} \sigma_i - \sigma_D^C\right) \quad \textbf{(12.16)}$$

De la ecuación 12.13 se deduce que la diferencia $\left(\sum_{i=1}^{k} \sigma_i - \sigma_D^C\right)$ está influenciada por los coeficientes de correlación r_{ij}. Esta diferencia es grande cuando los coeficientes de correlación son cercanos a -1 (correlación negativa) y se contrae cuando se aproximan a $+1$ (correlación positiva). Los ahorros de inventario en la agregación siempre son positivos mientras los coeficientes de correlación sean menores que 1. De este modo, con base en la ecuación 12.16, obtenemos las siguientes conclusiones sobre el valor de la agregación:

- Los ahorros en el inventario de seguridad para la agregación aumentan con el nivel de servicio del ciclo CSL deseado.
- Los ahorros en el inventario de seguridad para la agregación aumentan con el tiempo de espera del reabastecimiento L.
- Los ahorros en el inventario de seguridad para la agregación aumentan con el costo de retención H.
- Los ahorros en el inventario de seguridad para la agregación aumentan con el coeficiente de variación de la demanda.
- Los ahorros en el inventario de seguridad para la agregación disminuyen a medida que se incrementan los coeficientes de correlación.

En el ejemplo 12-8 ilustramos los ahorros de inventario para la agregación y el efecto del coeficiente de correlación sobre estos ahorros.

EJEMPLO 12-8 Efecto de la correlación sobre el valor de agregación

Un concesionario de BMW cuenta con cuatro puntos de venta que sirven a toda el área de Chicago (opción desagregada). La demanda semanal en cada punto de venta tiene una distribución normal, con una media de $D = 25$ automóviles y una desviación estándar de $\sigma_D = 5$. El tiempo de espera para el reabastecimiento del fabricante es $L = 2$ semanas.

Cada punto de venta cubre un área geográfica distinta y la correlación de la demanda entre cualquier par de áreas es r. El concesionario está considerando la posibilidad de sustituir los cuatro puntos de venta con una sola ubicación más grande (opción agregada). Suponga que la demanda en el punto de venta central es la suma de la demanda en cada una de las cuatro áreas. El concesionario establece un CSL de 0.90. Compare el nivel del inventario de seguridad requerido en las dos opciones a medida que el coeficiente de correlación r varía entre 0 y 1.

Análisis:

Proporcionamos un análisis detallado para el caso en que la demanda de cada área es independiente (es decir, $r = 0$). Para cada punto de venta tenemos

Desviación estándar de la demanda semanal, $\sigma_D = 5$.

Tiempo de espera del reabastecimiento, $L = 2$ semanas

Con base en la ecuación 12.12, el inventario de seguridad requerido en la opción descentralizada para un CSL = 0.90 es

$$\text{Inventario de seguridad total requerido, } ss = k \times F_s^{-1}(CSL) \times \sqrt{L} \times \sigma_D$$

$$= 4 \times F_s^{-1}(0.9) \times \sqrt{2} \times 5 = 4 \times NORMSINV(0.9) \times \sqrt{2} \times 5 = 36.24 \text{ automóviles}$$

Ahora considere la opción agregada. Como la demanda en las cuatro áreas es independiente, $\rho = 0$. Utilizando la ecuación 12.14, la desviación estándar de la demanda semanal total es

$$\text{Desviación estándar de la demanda semanal en el punto de venta central, } \sigma_D^C = \sqrt{4} \times 5 = 10$$

Para un CSL de 0.90, el inventario de seguridad requerido para la opción agregada (utilizando la ecuación 12.15) está dado por

$$ss = F_s^{-1}(0.90) \times \sqrt{L} \times \sigma_D^C = NORMSINV(0.90) \times \sqrt{2} \times 10 = 18.12$$

Con base en las ecuaciones 12.12 a 12.15, el nivel del inventario de seguridad requerido para la opción desagregada, así como para la opción agregada, puede obtenerse para diferentes valores de r como se muestra en la tabla 12-3. Observe que el inventario de seguridad para la opción desagregada es mayor que para la opción agregada, excepto cuando todas las demandas están perfectamente correlacionadas de manera positiva. El beneficio de la agregación disminuye a medida que la demanda en las diferentes áreas tiene una correlación más positiva.

El ejemplo 12-8 y el análisis anterior demuestran que la agregación reduce la incertidumbre de la demanda y por lo tanto el inventario de seguridad requerido, siempre y cuando las demandas agregadas no tengan una correlación perfectamente positiva. La demanda de la mayoría de los productos no muestra correlación positiva perfecta entre diferentes regiones geográficas. Es probable que productos como el aceite para calefacción tengan una demanda con correlación positiva entre las regiones cercanas. En contraste, productos como la leche y el azúcar son propensos a tener una demanda mucho más independiente entre las regiones. Si la demanda en las distintas regiones geográficas tiene aproximadamente el mismo tamaño y es independiente, la agregación reduce el inventario de seguridad por la raíz cuadrada del número de zonas agregadas. En otras palabras, si el número de lugares de almacenamiento independientes disminuye en un factor de n, se espera que el inventario de seguridad promedio disminuya en un factor de $\sqrt{n}$. Este principio se conoce como la ley de la raíz cuadrada y se ilustra en la Figura 12-4.

Tabla 12-3 Inventario de seguridad para las opciones desagregada y agregada

ρ	Inventario de seguridad desagregado	Inventario de seguridad agregado
0	36.24	18.12
0.2	36.24	22.92
0.4	36.24	26.88
0.6	36.24	30.32
0.8	36.24	33.41
1.0	36.24	36.24

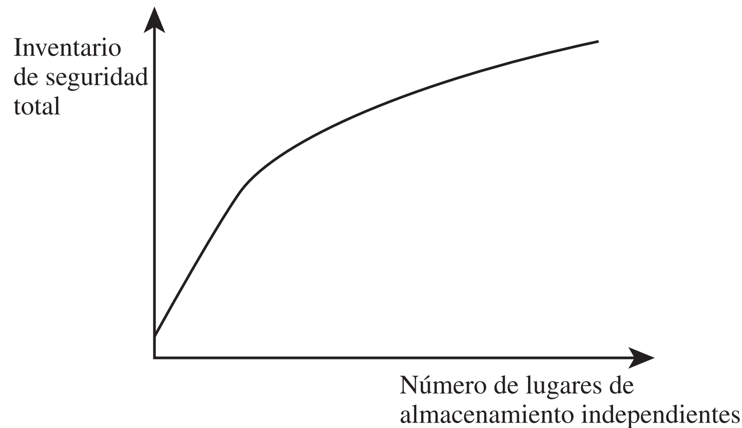


FIGURA 12-4 Ley de la raíz cuadrada.

La mayoría de los minoristas en línea explotan los beneficios de la agregación en términos de la reducción de inventarios. Por ejemplo, Blue Nile vende diamantes en línea y da servicio a todo Estados Unidos desde un solo almacén. Como resultado, tiene niveles de inventario de diamantes más bajos que cadenas de joyería como Tiffany y Zales, que deben mantener inventario en cada tienda minorista.

Sin embargo, hay situaciones en las que la agregación física de los inventarios en una ubicación puede no ser óptima. Hay dos desventajas principales de agregar todos los inventarios en un solo lugar:

1. Incremento del tiempo de respuesta al pedido de un cliente.
2. Incremento de los costos de transporte hacia el cliente.

Ambas desventajas se presentan porque la distancia promedio entre el inventario y el cliente aumenta con la agregación. O bien el cliente tiene que viajar más lejos para llegar al producto o el producto tiene que ser enviado a distancias más largas para llegar al cliente. Una cadena de tiendas minoristas como Gap tiene la opción de crear muchos pequeños puntos de venta al menudeo o algunas tiendas grandes. Gap tiende a tener muchos puntos de venta pequeños distribuidos uniformemente en una región, ya que esta estrategia reduce la distancia que debe recorrerse para llegar a los clientes de una tienda. Si Gap tuviera una gran tienda centralizada, la distancia promedio que los clientes necesitarían viajar aumentaría y por lo tanto el tiempo de respuesta se incrementaría. Entonces, el deseo de reducir el tiempo de respuesta al cliente es el impulso para que la empresa tenga múltiples puntos de venta. Otro ejemplo es el de McMaster-Carr, un distribuidor de suministros para MRO. McMaster-Carr utiliza UPS para enviar el producto a sus clientes. Como los gastos de envío se basan en la distancia, tener un almacén centralizado aumenta el costo de envío promedio, así como el tiempo de respuesta al cliente. Por lo tanto, McMaster-Carr tiene cinco almacenes que le permiten proporcionar entregas al día siguiente a una gran parte de Estados Unidos. Las entregas al día siguiente por UPS no serían factibles a un costo razonable si McMaster-Carr tuviera un solo almacén. Incluso Amazon, que empezó con un almacén en Seattle, ha añadido más bodegas en otras partes de Estados Unidos en un esfuerzo por mejorar el tiempo de respuesta y reducir los costos de transporte hacia el cliente. En el ejemplo 12-9 ilustramos las ventajas y desventajas de la centralización.

EJEMPLO 12-9 Ventajas y desventajas de la centralización física

Un minorista en línea se debate entre la posibilidad de dar servicio a los Estados Unidos mediante cuatro centros regionales de distribución, o por medio de un centro de distribución nacional. La demanda semanal en cada región tiene una distribución normal, con una media de 1,000 y una desviación estándar de 300. La demanda experimentada en cada región es independiente y el tiempo de espera del suministro es de cuatro semanas. El minorista en línea tiene un costo de retención de 20% y cada producto le cuesta $1,000. El minorista ofrece a sus clientes entregas al día siguiente. Con cuatro centros de distribución regional, el minorista puede ofrecer entregas al día siguiente usando transporte terrestre, a un costo de $10/unidad. Con un centro de distribución nacional único, el minorista tendría que utilizar un modo de transporte más caro, que costaría

$13/unidad para proporcionar el servicio de entrega al día siguiente. La construcción y operación de cuatro centros regionales cuesta $150,000 anuales más que la construcción y operación de un centro de distribución nacional. ¿Qué red de distribución recomienda? Suponga que se desea un CSL de 0.95.

Análisis:

Observe que la centralización reduce los costos de instalación e inventario, pero aumenta los costos de transporte. Por lo tanto evaluamos el cambio de costos en cada categoría debido a la agregación. Empezamos con los costos de inventario. Para cada región tenemos

$$D = 1{,}000 \text{ / semana}, \ \sigma_D = 300, \ L = 4 \text{ semanas}$$

Como el *CSL* deseado = 0.95, el inventario de seguridad requerido en los cuatro centros de distribución regionales se obtiene mediante la ecuación 12.9 como

$$\begin{aligned} \text{Inventario de seguridad total requerido, } ss &= 4 \times F_s^{-1}(CSL) \times \sqrt{L} \times \sigma_D \\ &= 4 \times NORMSINV(0.95) \times \sqrt{4} \times 300 = 3{,}948 \end{aligned}$$

Ahora considere la opción agregada. Debido a que la demanda en las cuatro áreas es independiente, $r = 0$. Utilizando la ecuación 12.14, la desviación estándar de la demanda semanal total es

$$\text{Desviación estándar de la demanda semanal en el centro de distribución nacional, } \sigma_D^C = \sqrt{4} \times 300 = 600$$

Para un CSL de 0.95, el inventario de seguridad requerido para la opción agregada (utilizando la ecuación 12,15) está dado por

$$ss = F_s^{-1}(0.95) \times \sqrt{L} \times \sigma_D^C = NORMSINV(0.95) \times \sqrt{4} \times 600 = 1{,}974$$

Ahora podemos evaluar los cambios en los costos en inventario, transporte e instalación para la agregación de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Disminución en el costo anual de retención del inventario con la agregación} &= (3{,}948 - 1{,}974) \times \$1{,}000 \times 0.2 \\ &= \$394{,}765 \end{aligned}$$

$$\text{Disminución en los costos anuales de instalación para la agregación} = \$150{,}000$$

$$\text{Aumento en los costos anuales de transporte con la agregación} = 52 \times 1{,}000 \times (13 - 10) = \$624{,}000$$

Observe que en este caso los costos anuales para el minorista en línea aumentan en $624,000 − $394,765 − $150,000 = $79,235 para la agregación. El minorista en línea está en una mejor situación con cuatro centros de distribución regionales.

El ejemplo 12-9 y el análisis anterior destacan las instancias en que la agregación física del inventario en una ubicación puede no ser óptima. Sin embargo, la agregación del inventario de seguridad tiene claros beneficios. Ahora analizamos varios métodos mediante los cuales una cadena de suministro puede extraer los beneficios de la agregación sin tener que centralizar físicamente todos los inventarios en una ubicación.

Centralización de la información

Redbox utiliza la *centralización de la información* para agregar virtualmente sus inventarios de DVDs a pesar de tener decenas de miles de máquinas expendedoras. La compañía ha establecido un sistema en línea que permite a los clientes localizar en inventario la máquina expendedora más cercana con el DVD que están buscando. Esto permite a Redbox proporcionar un nivel mucho más alto de disponibilidad de producto del que sería posible si un cliente se enterara de la disponibilidad sólo al visitar una máquina expendedora. El beneficio de la centralización de la información se deriva del hecho de que la mayoría de los clientes obtienen su DVD de la máquina expendedora más cercana a su casa. En caso de una falta de existencias en la máquina expendedora más cercana, el cliente utiliza otra máquina expendedora, mejorando así la disponibilidad de los productos sin tener que agregarlos a los inventarios.

Algunos minoristas como Gap también utilizan la centralización de la información de manera efectiva. Si una tienda no tiene la talla o el color que el cliente quiere, los empleados de la tienda pueden utilizar su sistema de información para darle a conocer al cliente la tienda más cercana con el producto en inventario. Los clientes pueden ir a esa tienda o recibir el producto en su casa. Así, Gap utiliza la centralización de la información para agregar virtualmente el inventario total en todas las tiendas minoristas aunque el inventario esté físicamente separado. Esto permite a Gap reducir la cantidad de inventario de seguridad que mantiene, a la vez que proporciona un alto nivel de disponibilidad de producto.

Walmart tiene un sistema de información en sitio que permite a los gerentes de las tiendas buscar en otros establecimientos excedentes de artículos que pueden venderse bien en sus tiendas. Walmart ofrece el servicio de transporte que permite a los gerentes de las tiendas intercambiar productos para que lleguen a las ubicaciones donde éstos tienen alta demanda. En este caso Walmart utiliza la centralización de la información con un sistema de transporte de respuesta para reducir la cantidad de inventario de seguridad retenido a la vez que proporciona un alto nivel de disponibilidad de producto.

Especialización

La mayoría de las cadenas de suministro proporcionan una variedad de productos a los clientes. Cuando se mantiene inventario en varias ubicaciones, una decisión clave para un gerente de la cadena de suministro es si todos los productos deben ser almacenados en cada ubicación. Desde luego, un producto que no se vende en una región geográfica no debe retenerse en el inventario del almacén o de la tienda ubicada allí. Por ejemplo, no tiene sentido que una tienda minorista de Sears en el sur de Florida conserve en inventario una amplia variedad de botas para nieve.

Otro factor importante que se debe considerar al tomar decisiones de almacenamiento es la reducción en el inventario de seguridad que resulta de la agregación. Si ésta reduce el inventario de seguridad requerido para un producto en una gran cantidad, la mejor opción es retener el producto en una ubicación central. Si la agregación reduce el inventario de seguridad requerido para un producto en una cantidad pequeña, puede resultar mejor opción retener el producto en varios lugares descentralizados para reducir el tiempo de respuesta y los costos de transporte.

La reducción en el inventario de seguridad debida a la agregación está fuertemente influenciada por el coeficiente de variación de la demanda. Para un producto con un bajo coeficiente de variación, la demanda desagregada puede pronosticarse con exactitud. En consecuencia, el beneficio de la agregación es mínimo. Para un producto con un alto coeficiente de variación en la demanda, la demanda desagregada es difícil de pronosticar. En este caso, la agregación mejora significativamente la exactitud del pronóstico, proporcionando grandes beneficios. Ilustramos esta idea en el ejemplo 12-10.

EJEMPLO 12-10 Efecto del coeficiente de variación en el valor de la agregación

Suponga que W.W. Grainger, un proveedor de productos para MRO, cuenta con 1,600 tiendas repartidas en todo Estados Unidos. Considere dos productos: motores eléctricos grandes y limpiadores industriales. Los motores eléctricos grandes son artículos de alto valor con una demanda baja, mientras que el limpiador industrial es un elemento de bajo valor con alta demanda. Cada motor cuesta $500 y cada lata de limpiador cuesta $30. La demanda semanal de motores en cada tienda tiene una distribución normal, con una media de 20 y una desviación estándar de 40. La demanda semanal del limpiador en cada tienda tiene una distribución normal, con una media de 1,000 y una desviación estándar de 100. La demanda experimentada en cada tienda es independiente y el tiempo de espera del suministro tanto para los motores como para el limpiador es de cuatro semanas. W.W. Grainger tiene un costo de retención de 25%. Para cada uno de los dos productos, evalúe la reducción del inventario de seguridad que resultará si se eliminan de las tiendas minoristas y se retiene sólo en un centro de distribución centralizado. Suponga un CSL deseado de 0.95.

Análisis:

En la tabla 12-4 se muestra la evaluación de los inventarios de seguridad y el valor de la agregación para cada uno de los dos productos. Todos los cálculos utilizan el método analizado antes y que se ilustró en el ejemplo 12-8. Como lo muestra la tabla 12-4, el beneficio de la reducción del inventario por centralizar los motores es mucho mayor que el beneficio por centralizar los limpiadores. Con base en este análisis, W.W. Grainger

Tabla 12-4 Valor de la agregación en W.W. Grainger

	Motores	Limpiador
El inventario se almacena en cada tienda		
Demanda semanal promedio por tienda	20	1,000
Desviación estándar	40	100
Coeficiente de variación	2.0	0.1
Inventario de seguridad por tienda	132	329
Inventario de seguridad total	211,200	526,400
Valor del inventario de seguridad	$105,600,000	$15,792,000
El inventario se agrega en el CD		
Demanda semanal promedio agregada	32,000	1,600,000
Desviación estándar de la demanda agregada	1,600	4,000
Coeficiente de variación	0.05	0.0025
Inventario de seguridad total	5,264	13,159
Valor del inventario de seguridad	$2,632,000	$394,770
Ahorros		
Ahorro de inventario total con la agregación	$102,968,000	$15,397,230
Ahorro en el costo de retención total con la agregación	$25,742,000	$3,849,308
Ahorro en el costo de retención por unidad vendida	$15.47	$0.046
Ahorros como porcentaje del costo del producto	3.09%	0.15%

debería almacenar los limpiadores en las tiendas y los motores en el CD. Como el limpiador es un artículo de alta demanda, los clientes serán capaces de recogerlo el mismo día en las tiendas. Puesto que los motores son artículos de baja demanda, los clientes pueden estar dispuestos a esperar un día más por el envío desde el CD.

Punto clave

Cuanto mayor sea el coeficiente de variación de un artículo, mayor será la reducción del inventario de seguridad como resultado de la centralización.

Los productos con baja demanda se conocen como *productos de lento movimiento* y por lo general tienen un alto coeficiente de variación, mientras que los productos con alta demanda se conocen como *productos de rápido movimiento* y suelen tener un bajo coeficiente de variación. Muchas cadenas de suministro que se especializan en la distribución en red de productos de rápido movimiento almacenados en ubicaciones descentralizadas cercanas a los clientes y productos de lento movimiento almacenados en una ubicación centralizada, pueden reducir significativamente el inventario de seguridad retenido sin afectar el tiempo de respuesta al cliente o aumentar los costos de transporte. Entonces, la ubicación centralizada se especializa en el manejo de productos de lento movimiento.

Por supuesto, hay otros factores que deben tenerse en cuenta al momento de decidir sobre la asignación de productos a las distintas ubicaciones de almacenamiento. Por ejemplo, un artículo que se considera de emergencia debido a que el cliente lo necesita con urgencia puede almacenarse en las tiendas, incluso si tiene un alto coeficiente de variación. También es necesario considerar el costo del artículo. La centralización ofrece un mayor beneficio para los productos de gran valor que para los artículos de valor bajo.

Para las empresas con tiendas en ubicaciones físicas es importante tomar la idea de la especialización al momento de diseñar su estrategia en línea. Considere, por ejemplo, una cadena de librerías como Barnes & Noble, que mantiene cerca de 100,000 títulos en cada tienda. Los títulos pueden dividirse en dos amplias categorías: éxitos de venta (*bestsellers*) con alta demanda y otros libros con una demanda mucho menor. Barnes & Noble puede diseñar una estrategia en línea en la cual las tiendas minoristas conservan en inventario principalmente los títulos más vendidos. También conservan una o dos copias de cada uno de los otros títulos, para que los clientes puedan verlos. Los clientes pueden acceder a todos los títulos que no están en la tienda a través de quioscos electrónicos en la tienda, que dan acceso al inventario de barnesandnoble.com. Esta estrategia permite a los clientes acceder a una mayor variedad de libros en las tiendas de Barnes & Noble. Los clientes pueden hacer pedidos de títulos con bajo volumen en barnesandnoble.com mientras compran títulos muy vendidos en la tienda. Esta estrategia de especialización permite a Barnes & Noble agregar todos los productos de lento movimiento para que se vendan en línea. Los productos más vendidos se descentralizan y acercan al cliente. Por lo tanto, la cadena de suministro reduce los costos del inventario de baja rotación a expensas de los costos de transporte que son más altos. Para los artículos de rotación rápida, la cadena de suministro proporciona un costo de transporte más bajo y un mejor tiempo de respuesta mediante el mantenimiento de los artículos en las tiendas cercanas al cliente.

Gap sigue una estrategia similar e integra su canal en línea con sus tiendas minoristas, en las cuales se cuenta con terminales para hacer pedidos en línea. Las tiendas minoristas almacenan productos de rápido movimiento y el cliente puede ordenar colores o tamaños de lento movimiento en línea. Así, Gap es capaz de aumentar la variedad de productos disponibles para los clientes, mientras mantiene bajos inventarios en la cadena de suministro. Walmart.com también ha empleado una estrategia de mantener los productos de lento movimiento en línea.

Sustitución del producto

La *sustitución* se refiere al uso de un producto para satisfacer la demanda de un producto diferente. La sustitución puede ocurrir en dos situaciones:

1. ***Sustitución impulsada por el fabricante:*** el fabricante o proveedor toma la decisión de sustituir. Por lo general, el fabricante sustituye un producto que no está en el inventario por un artículo de mayor valor. Por ejemplo, Dell puede instalar una unidad de 1.2 terabytes en disco duro para un pedido de un cliente que requiere una unidad de 1 terabyte, si la unidad más pequeña no está en inventario.
2. ***Sustitución orientada al cliente:*** los clientes toman la decisión de sustituir. Por ejemplo, un cliente entra en una tienda Walmart a comprar un galón de detergente, pero puede comprar el detergente de medio galón si el tamaño de un galón no está disponible. El cliente sustituye el tamaño de un galón por el tamaño de medio galón.

En ambos casos la explotación de la sustitución permite a la cadena de suministro satisfacer la demanda usando inventarios agregados, lo que le permite para reducir los inventarios de seguridad sin perjudicar la disponibilidad del producto. En general, ante dos productos o componentes la sustitución puede ser en un solo sentido (es decir, sólo uno de los productos [componentes] sustituye al otro) o en dos (es decir, cualquiera de los productos [componentes] sustituye al otro). Analizamos brevemente la sustitución en un solo sentido en el contexto de la sustitución impulsada por el fabricante, y la sustitución en dos sentidos en el contexto de la sustitución impulsada por el cliente.

SUSTITUCIÓN EN UN SOLO SENTIDO IMPULSADA POR EL FABRICANTE Considere un fabricante de PCs con venta directa a los clientes, el cual ofrece unidades que varían en tamaño de 100 a 300 gigabytes. Los clientes pagan de acuerdo con el tamaño de la unidad que seleccionen, los tamaños más grandes son más caros. Si un cliente pide un disco duro de 200 gigabytes y el fabricante de PCs no tiene discos de ese tamaño, hay dos opciones posibles: (1) retardar o negar el pedido del cliente, o (2) sustituir el pedido por una unidad más grande que esté disponible (por ejemplo, una unidad de 220 gigabytes) y cumplir con la orden del cliente a tiempo. El primer caso es potencialmente una venta perdida o pérdida de ventas en el futuro debido a que el cliente experimenta un retraso en la entrega. En el segundo caso, el fabricante instala un componente de mayor costo, reduciendo el margen de ganancia para la empresa. Estos factores, junto con el hecho de que las unidades sólo pueden sustituirse con unidades más grandes, deben ser considerados por el fabricante al tomar decisiones acerca del inventario para cada uno de los tamaños de unidad.

La sustitución permite al fabricante de PCs agregar la demanda a través de sus componentes, reduciendo los inventarios de seguridad requeridos. El valor de la sustitución aumenta a medida que se incrementa la incertidumbre de la demanda. Así, el fabricante de PCs debe considerar la sustitución de componentes que presenten una gran incertidumbre en su demanda.

El grado deseado de sustitución está influenciado por la diferencia de costos entre los componentes de mayor y menor valor. Si la diferencia de costo es muy pequeña, el fabricante de PCs debe agregar la mayor parte de la demanda y mantener la mayor parte de su inventario en la forma de componentes de valor más alto. A medida que aumenta la diferencial de costos, el beneficio de la sustitución disminuye. En este caso, el fabricante de PCs encontrará más rentable mantener inventario de cada uno de los dos componentes y disminuir la cantidad de sustitución.

El nivel deseado de sustitución también se ve influenciado por la correlación de la demanda entre los productos. Si la demanda entre dos componentes posee una fuerte correlación positiva, la sustitución tiene poco valor. Cuando la demanda de los dos componentes tiene una menor correlación positiva (o incluso una correlación negativa), el beneficio de la sustitución aumenta.

Punto clave

La sustitución impulsada por el fabricante aumenta la rentabilidad global de éste al permitir cierto nivel de agregación de la demanda, lo cual reduce los requerimientos de inventario para el mismo nivel de disponibilidad.

SUSTITUCIÓN EN DOS DIRECCIONES ORIENTADA AL CLIENTE Considere que W.W. Grainger vende dos marcas de motores, GE y SE, los cuales tienen características de desempeño similares. Los clientes suelen estar dispuestos a comprar cualquiera de las dos marcas, en función de la disponibilidad del producto. Si los gerentes de W. W. Grainger no reconocen la sustitución del cliente, tampoco la estimularán. Por lo tanto, para un nivel dado de disponibilidad del producto tendrán que retener altos niveles de inventario de seguridad de cada marca. Si los gerentes reconocen y estimulan la sustitución del cliente, pueden agregar el inventario de seguridad empleando las dos marcas, mejorando así la disponibilidad del producto.

W.W. Grainger hace un buen trabajo al reconocer la sustitución del cliente. Cuando un cliente llama o se conecta en línea para hacer un pedido y el producto que solicita no está disponible, se le informa inmediatamente de la disponibilidad de productos equivalentes que puede usar para sustituirlo. Al final, la mayoría de los clientes compran un producto sustituto cuando se presenta esta situación. W.W. Grainger explota la sustitución al administrar un inventario de seguridad para todos los productos sustituibles de forma conjunta. El reconocimiento y la explotación de la sustitución del cliente permiten que W.W. Grainger proporcione un alto nivel de disponibilidad del producto, con menores niveles de inventario de seguridad.

En la industria minorista es importante tener una buena comprensión de la sustitución impulsada por el cliente. Debe aprovecharse durante el proceso de venta para asegurar que los productos sustitutos se coloquen cercanos entre sí, lo que permitirá a un cliente comprar uno si el otro no está en inventario. En el canal online, la sustitución requiere que el minorista presente la disponibilidad de productos sustitutos si el que solicitó el cliente está agotado. Así, la cadena de suministro será capaz de reducir el nivel del inventario de seguridad requerido al mismo tiempo que proporciona un alto nivel de disponibilidad del producto.

Punto clave

El reconocimiento de la sustitución impulsada por el cliente y la gestión conjunta de inventarios con productos sustituibles permiten a una cadena de suministro reducir el inventario de seguridad requerido al mismo tiempo que garantiza un alto nivel de disponibilidad del producto.

Las incertidumbres de la demanda y la correlación de la demanda entre productos sustituibles influyen en el beneficio que obtiene el minorista al aprovechar la sustitución. Cuanto mayor sea la incertidumbre de la demanda, mayor será el beneficio de la sustitución. Cuanto más positiva sea la correlación de la demanda entre productos sustituibles, mayor será el beneficio del aprovechamiento de la sustitución.

Comunalidad de componentes

En cualquier cadena de suministro, una parte significativa del inventario se conserva en forma de componentes. Un producto único, como una PC, contiene cientos de componentes. Cuando una cadena de suministro produce una gran variedad de productos, los inventarios de componentes pueden llegar a ser muy grandes. El uso de componentes comunes en varios productos es una estrategia eficaz de la cadena de suministro para aprovechar la agregación y reducir los inventarios de componentes.

Dell vende miles de configuraciones de PC a sus clientes. Una opción extrema para Dell consiste en diseñar componentes distintos que sirven para ajustarse al desempeño de una configuración particular. Dell usaría diferentes memorias, discos duros, módems y otros componentes para cada producto terminado en particular. La otra opción es diseñar productos de modo que las diferentes combinaciones de componentes resulten en diferentes productos terminados.

Sin componentes comunes, la incertidumbre de la demanda de cualquier componente es la misma que la incertidumbre de la demanda para el producto terminado en el que se utiliza. Dada la gran cantidad de componentes en cada producto terminado, la incertidumbre de la demanda será alta, con altos niveles del inventario de seguridad. Cuando los productos se diseñan con componentes comunes, la demanda de cada componente es una agregación de la demanda de todos los productos terminados de los cuales el componente es una parte. Por lo tanto, la demanda de componentes es más predecible que la demanda de cualquier producto terminado. Este hecho reduce los inventarios de componentes que se mantienen en la cadena de suministro. Esta idea ha sido un factor clave para el éxito en la industria de las PC y también ha comenzado a jugar un papel importante en la industria automotriz. Con una variedad de productos cada vez mayor, los componentes comunes son clave para la reducción de inventarios en la cadena de suministro sin afectar la disponibilidad de productos. En el ejemplo 12-11 ilustramos la idea básica detrás de la comunalidad de componentes.

EJEMPLO 12-11 Valor de la comunalidad de componentes

Suponga que Dell debe fabricar 27 PC con tres componentes distintos: el procesador, la memoria y el disco duro. Con la opción desagregada, Dell diseña componentes específicos para cada PC, lo que resulta en $3 \times 27 = 81$ componentes distintos. En la opción de componentes comunes, Dell diseña PC de modo que pueda combinar tres procesadores distintos, tres unidades de memoria diferentes y tres discos duros distintos para crear 27 PC. Así, cada componente se utiliza en nueve PC. La demanda mensual de cada una de las 27 PC es independiente y normalmente distribuida, con una media de 5,000 y una desviación estándar de 3,000. El tiempo de espera de reabastecimiento para cada componente es de un mes. Dell tiene como objetivo un CSL de 95% para el inventario de componentes. Evalúe el inventario de seguridad requerido con y sin el uso de componentes comunes. También evalúe el cambio en el inventario de seguridad requerido cuando la cantidad de productos terminados de los cuales el componente es una parte varía de uno a nueve.

Análisis:

Primero evaluamos la opción desagregada, en la que los componentes son específicos de una PC. Para cada componente tenemos

$$\text{Desviación estándar de la demanda mensual} = 3{,}000$$

Dado un tiempo de espera de un mes y un total de 81 componentes en 27 PCs, utilizamos la ecuación 12.12 para obtener

$$\text{Inventario de seguridad total requerido} = 81 \times NORMSINV(0.95) \times \sqrt{1} \times 3{,}000 = 399{,}699 \text{ unidades}$$

En el caso de la comunalidad de componentes, cada componente puede formar parte de nueve productos terminados. Por lo tanto, la demanda al nivel de los componentes es la suma de la demanda para nueve productos. Si se usan las ecuaciones 12.14 y 12.15, el inventario de seguridad requerido para cada componente es

$$\text{Inventario de seguridad por componente común} = NORMSINV(0.95) \times \sqrt{1} \times \sqrt{9} \times 3{,}000 = 14{,}804 \text{ unidades}$$

Tabla 12-5 Beneficio marginal de la comunalidad de componentes

Número de productos terminados por componente	Inventario de seguridad	Reducción marginal en el inventario de seguridad	Reducción total en el inventario de seguridad
1	399,699		
2	282,630	117,069	117,069
3	230,766	51,864	168,933
4	199,849	30,917	199,850
5	178,751	21,098	220,948
6	163,176	15,575	236,523
7	151,072	12,104	248,627
8	141,315	9,757	258,384
9	133,233	8,082	266,466

Con la comunalidad de componentes hay un total de nueve componentes distintos. Entonces, el inventario de seguridad total de los nueve componentes es

$$\text{Inventario de seguridad total requerido} = 9 \times 14{,}804 = 133{,}236$$

De este modo, si cada componente es común a nueve productos se obtiene una reducción en el inventario de seguridad para Dell de 399,699 a 133,236 unidades.

En la tabla 12-5 evaluamos el beneficio marginal en términos de la reducción del inventario de seguridad como resultado de una comunalidad de componentes cada vez mayor. Empezando con el inventario de seguridad requerido cuando cada componente se utiliza en un solo producto terminado, evaluamos luego el inventario de seguridad a medida que el número de productos en que se utiliza un componente aumenta a nueve. Observe que comunalidad de componentes disminuye el inventario de seguridad requerido para Dell. Sin embargo, el beneficio marginal de la comunalidad disminuye a medida que un componente se utiliza en cada vez más productos terminados.

A medida que un componente se utiliza en más productos acabados, necesita ser más flexible. Como resultado, el costo de producir el componente generalmente aumenta con el incremento de la comunalidad. Como el beneficio marginal de la comunalidad de un componente disminuye a medida que ésta aumenta, es necesario compensar el aumento en el costo de los componentes y la disminución en el inventario de seguridad al momento de decidir sobre el nivel adecuado de comunalidad de componentes.

Punto clave

La comunalidad de componentes disminuye el inventario de seguridad requerido. Sin embargo, el beneficio marginal disminuye con el aumento de la comunalidad.

Aplazamiento

El *aplazamiento* es la capacidad de una cadena de suministro para retrasar la diferenciación o personalización del producto hasta un momento cercano a la venta del producto. El objetivo es tener componentes comunes en la cadena de suministro para la mayor parte de la fase de empuje y desplazar la diferenciación de los productos lo más cerca posible a la fase de entrega de la cadena de suministro. Por ejemplo, ahora la mezcla final de pinturas se hace en la tienda minorista después de que el cliente ha seleccionado el color que desea. Por lo tanto, la variedad de pinturas se produce sólo cuando se conoce la demanda con certeza. El aplazamiento junto con la comunalidad de componentes permite a los minoristas de pintura conservar

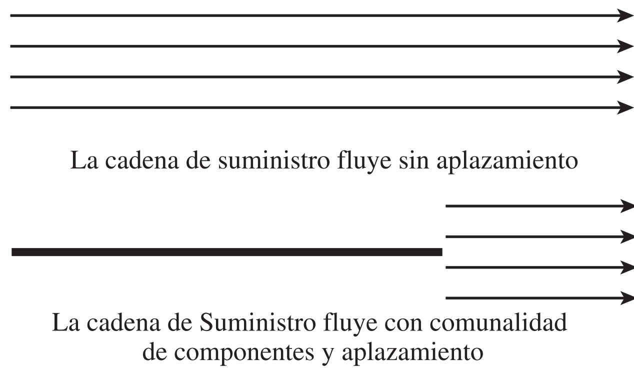


FIGURA 12-5 Flujo de la cadena de suministro con aplazamiento.

inventarios de seguridad significativamente más bajos que en el pasado, cuando la mezcla se llevaba a cabo en la fábrica de pinturas. Antes el gerente de la fábrica tenía que pronosticar la demanda de pintura según su color durante la planificación de la producción. Actualmente un gerente de fábrica sólo necesita pronosticar la demanda agregada de la pintura porque la mezcla se pospone hasta después de conocer la demanda del cliente. En consecuencia, cada tienda minorista conserva principalmente un inventario agregado en forma de pintura básica, la cual está configurada para los colores apropiados, de acuerdo con la demanda del cliente.

Otro ejemplo clásico de aplazamiento es el proceso de producción de Benetton para hacer prendas tejidas de colores. El proceso original contemplaba teñir el hilo, para después tejerlo y ensamblarlo en las prendas. Todo el proceso requería hasta seis meses. Debido a que el color de la prenda final se fijaba al momento de teñir el hilo, la demanda de colores individuales debía pronosticarse con mucha anticipación (hasta seis meses). Benetton desarrolló una tecnología de fabricación que le permitió teñir prendas tejidas con el color apropiado. Ahora se puede comprar hilo crudo (término usado para el hilo que aún no ha sido teñido), tejerlo y después ensamblarlo en las prendas antes de teñir. El teñido de las prendas se hace mucho más cerca de la etapa de ventas. De hecho, parte del teñido se realiza después del inicio de la temporada de venta, cuando la demanda se conoce con gran precisión. En este caso, Benetton ha aplazado la personalización del color de las prendas tejidas. Cuando se compra el hilo, sólo debe pronosticarse la demanda agregada considerando todos los colores. Dado que esta decisión se toma con mucha anticipación, cuando los pronósticos tienen menos posibilidad de ser exactos, hay una gran ventaja para esta agregación. A medida que Benetton se acerca a la temporada de ventas, la incertidumbre del pronóstico disminuye. Cuando Benetton tiñe las prendas tejidas, es porque se conoce la demanda con un alto grado de precisión, por lo que el aplazamiento permite a Benetton explotar la agregación y reducir significativamente el nivel del inventario de seguridad retenido. En la figura 12-5, se ilustran los flujos de la cadena de suministro con y sin aplazamiento.

Sin la comunalidad de componentes y el aplazamiento, la diferenciación del producto se produce al principio de la cadena de suministro y la mayoría de los inventarios de la cadena de suministro se desagregan. El aplazamiento permite que la cadena de suministro retrase la diferenciación de productos. Como resultado, la mayoría de los inventarios en la cadena de suministro son agregados. Por lo tanto, el aplazamiento permite que una cadena de suministro pueda aprovechar la agregación para reducir los inventarios de seguridad sin perjudicar la disponibilidad de productos. En el ejemplo 12-12, ilustramos los beneficios del aplazamiento. En el capítulo 13 se presenta un análisis más matizado del valor del aplazamiento.

EJEMPLO 12-12 Valor del aplazamiento

Considere un minorista que vende pinturas de 100 colores diferentes. Suponga que la demanda semanal para cada color es independiente y se distribuye normalmente con una media de 30 y una desviación estándar de 10. El tiempo de reabastecimiento de la fábrica de pintura es de dos semanas y el minorista tiene como objetivo un CSL = 0.95. ¿Cuánto inventario de seguridad deberá mantener el minorista si la pintura se mezcla en la fábrica y se mantiene en inventario en la tienda como colores individuales? ¿Cómo cambia el inventario de seguridad requerido si el minorista tiene pintura básica (suministrado por la fábrica de pinturas) y mezcla los colores de acuerdo con la demanda?

Análisis:
Primero evaluamos la opción desagregada, en la que el minorista tiene inventario de seguridad de todos los colores que vende. Para cada color tenemos

$$D = 30/\text{semana},\ \sigma_D = 10,\ L = 2 \text{ semanas}$$

Dado el CSL deseado = 0.95, el inventario de seguridad requerido para los 100 colores se obtiene utilizando la ecuación 12.9 para

$$\text{Inventario de seguridad total requerido, } ss = 100 \times F_s^{-1}(CSL) \times \sqrt{L} \times \sigma_D$$
$$= 100 \times NORMSINV(0.95) \times \sqrt{2} \times 10 = 2{,}326$$

Ahora considere la opción donde la mezcla se pospone hasta después de que los clientes han colocado sus pedidos. El inventario de seguridad se mantiene en forma de pintura básica, cuya demanda es un agregado de la demanda de los 100 colores. Debido a que la demanda en los 100 colores es independiente, $r = 0$. Con base en la ecuación 12.14, la desviación estándar de la demanda agregada semanal de pintura básica es

$$\text{Desviación estándar de la demanda semanal de pintura básica, } \sigma_D^C = \sqrt{100} \times 10 = 100$$

Para un CSL de 0.95, el inventario de seguridad requerido para la opción agregada (utilizando la ecuación 12,15) está dado como

$$ss = F_s^{-1}(0.95) \times \sqrt{L} \times \sigma_D^C = NORMSINV(0.95) \times \sqrt{2} \times 100 = 233$$

Observe que el aplazamiento reduce el inventario de seguridad requerido en la tienda de pintura de 2,326 unidades a 233 unidades.

El aplazamiento puede ser un concepto poderoso para el canal online. Al realizar el pedido a través de Internet, los clientes están implícitamente dispuestos a esperar un poco por la llegada de la orden. Este retraso le ofrece a la cadena de suministro la oportunidad de reducir los inventarios al posponer la diferenciación del producto hasta después de que la orden del cliente haya llegado. Es importante que el proceso de fabricación esté diseñado de modo que permita un ensamblaje que pueda completarse rápidamente. Todos los fabricantes de PCs ya posponen el ensamblaje de sus pedidos en línea. Varios fabricantes de muebles y ventanas también han aplazado algunos de los procesos de ensamblaje de sus pedidos.

12.5 EFECTO DE LAS POLÍTICAS DE REABASTECIMIENTO SOBRE EL INVENTARIO DE SEGURIDAD

En esta sección describimos la evaluación de los inventarios de seguridad para las políticas de reabastecimiento con revisión continua y periódica. Se destaca el hecho de que las políticas de revisión periódica de inventarios requieren más seguridad que las políticas de revisión continua para el mismo nivel de disponibilidad del producto. Para simplificar el análisis, nos centramos en el CSL como la medida de disponibilidad del producto. Las implicaciones administrativas son las mismas si utilizamos la tasa de satisfacción; sin embargo, el análisis es más engorroso.

Políticas de revisión continua

Como las políticas de revisión continua se estudiaron con detalle en la sección 12.2, aquí sólo se reiteran los puntos principales. Cuando se utiliza una política de revisión continua, un gerente ordena Q unidades cuando el inventario disminuye hasta el ROP. Es evidente que una política de revisión continua requiere una tecnología que monitoree el nivel de inventario disponible. Éste es el caso de muchas empresas como Walmart y Dell, cuyos inventarios se supervisan de forma continua.

Dado el CSL deseado, el objetivo es identificar el inventario de seguridad *ss* requerido y el ROP. Se supone que la demanda se distribuye normalmente, con las siguientes entradas:

D: Demanda promedio por periodo

σ_D: Desviación estándar de la demanda por periodo

L: Tiempo de espera promedio para el reabastecimiento

El ROP representa el inventario disponible para satisfacer la demanda durante el tiempo de espera *L*. Se produce un desabasto si la demanda durante el tiempo de espera es mayor que el ROP. Si la demanda entre periodos es independiente, la demanda durante el tiempo de espera se distribuye normalmente con las siguientes características:

$$\text{Demanda promedio durante el tiempo de espera, } D_L = D^*L$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, } \sigma_L = \sqrt{L}\sigma_D$$

Dado el CSL deseado, el inventario de seguridad requerido (*ss*), que se obtiene mediante la ecuación 12.9, y el ROP, que se calcula usando la ecuación 12.3, son

$$ss = F_S^{-1}(\text{CSL}) \times \sigma_L = NORMSINV(\text{CSL}) \times \sqrt{L}\sigma_D, \text{ROP} = D_L + ss$$

Un gerente que utiliza una política de revisión continua debe tomar en cuenta sólo la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de espera. Esto se debe a que la supervisión continua del inventario permite al gerente ajustar la temporización del pedido de reabastecimiento, dependiendo de la demanda experimentada. Si la demanda es muy alta, el inventario alcanzará el ROP rápidamente, dando lugar a un pedido de reabastecimiento rápido. Si la demanda es muy baja, el inventario descenderá lentamente hasta el ROP, lo que conducirá a un pedido de reabastecimiento retardado. Sin embargo, el gerente no tiene ningún recurso durante el tiempo de espera, una vez que se ha colocado un pedido de reabastecimiento. Por lo tanto, el inventario de seguridad disponible debe cubrir la incertidumbre de la demanda durante ese periodo.

Por lo general, en las políticas de revisión continua el tamaño del lote ordenado se mantiene fijo entre los ciclos de reabastecimiento. El tamaño de lote óptimo puede evaluarse usando la fórmula de la CEP analizada en el capítulo 10.

Políticas de revisión periódica

En las políticas de revisión periódica los niveles de inventario se revisan al cabo de un periodo fijo de tiempo *T* y se hace un pedido de modo que el nivel de inventario actual más el tamaño del lote de reabastecimiento equivalgan a un nivel predefinido, llamado *nivel de pedido* (OUL). El *intervalo de revisión* es el tiempo *T* entre pedidos sucesivos. Observe que el tamaño de cada pedido puede variar, dependiendo de la demanda experimentada entre pedidos sucesivos y el inventario resultante en el momento de realizar el pedido. Las políticas de revisión periódica son más fáciles de implementar para los minoristas debido a que no requieren que éste tenga la capacidad de vigilar el inventario de manera continua. Los proveedores también pueden preferirlas porque resultan en pedidos de reabastecimiento realizados a intervalos regulares.

Consideremos al gerente de la tienda en Walmart, que es el responsable de diseñar una política de reabastecimiento de los bloques de construcción Lego. Desea analizar el efecto en el inventario de seguridad si decide utilizar una política de revisión periódica. La demanda de Legos se distribuye normalmente y es independiente de una semana a la siguiente. Suponemos las siguientes entradas:

D: Demanda promedio por periodo

σ_D: Desviación estándar de la demanda por periodo

L: Tiempo de espera promedio para el reabastecimiento

T: Intervalo de revisión

CSL: Nivel de servicio del ciclo deseado

Para entender los requerimientos del inventario de seguridad, damos seguimiento a la secuencia de eventos en el tiempo cuando el gerente de la tienda coloca un pedido; hace el primer pedido en el momento 0 cuando el tamaño del lote ordenado y el inventario disponible suman para el nivel de pedido, OUL. Una vez que se coloca un pedido, el lote de reabastecimiento llega después de transcurrido el tiempo de espera *L*. El próximo periodo de revisión es el tiempo *T*, cuando el gerente de la tienda hace el siguiente pedido, que llega luego del tiempo $T + L$. El OUL representa el inventario disponible para satisfacer toda la demanda que surge entre los periodos 0 y $T + L$. La tienda de Walmart experimentará un desabasto si la demanda durante el intervalo de tiempo entre 0 y $T + L$ excede el OUL. Por lo tanto, el gerente debe identificar un OUL tal que se cumpla lo siguiente:

$$\text{Probabilidad (demanda durante } L + T \leq \text{OUL}) = \text{CSL}$$

El siguiente paso consiste en evaluar la distribución de la demanda durante el intervalo de tiempo $T + L$. Utilizando la ecuación 12.2, la demanda durante el intervalo de tiempo $T + L$ se distribuye normalmente, con

$$\text{Demanda promedio durante } T + L \text{ periodos, } D_{T+L} = (T + L)D$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda durante } T + L \text{ periodos, } \sigma_{T+L} = \sqrt{T + L}\,\sigma_D$$

El inventario de seguridad en este caso es la cantidad en exceso de D_{T+L} que mantiene Walmart durante el intervalo de tiempo $T + L$. El OUL y el inventario de seguridad ss se relacionan de la siguiente manera:

$$\text{OUL} = D_{T+L} + ss \tag{12.17}$$

Dado el CSL deseado, el inventario de seguridad (ss) requerido está dado por

$$ss = F_S^{-1}(\text{CSL}) \times \sigma_{T+L} = NORMSINV(\text{CSL}) \times \sigma_{T+L} \tag{12.18}$$

El tamaño promedio de lote es igual a la demanda media durante el periodo de revisión T y se obtiene como

$$\text{Tamaño promedio de lote, } Q = D_T = D^*T \tag{12.19}$$

En la Figura 12-6 mostramos el perfil del inventario para una política de revisión periódica con el tiempo de entrega $L = 4$ y el intervalo de reorden $T = 7$. Observe que en el día 7, la compañía realiza un pedido que determina un inventario disponible hasta el día 18 (como se muestra en la línea que va desde el punto 1 hasta el punto 2). Como resultado de lo anterior, el inventario de seguridad debe ser suficiente para amortiguar la variabilidad de la demanda durante $T + L = 7 + 4 = 11$ días.

En el ejemplo 12-13 ilustramos la política de revisión periódica de Walmart.

EJEMPLO 12-13 Evaluación del inventario de seguridad para una política de revisión periódica

La demanda semanal de Legos en una tienda Walmart tiene una distribución normal, con una media de 2,500 cajas y una desviación estándar de 500. El tiempo de reabastecimiento es de dos semanas y el gerente de la tienda ha decidido revisar el inventario cada cuatro semanas. Si se asume una política de reabastecimiento con revisión periódica, evalúe el inventario de seguridad que se debe retener la tienda para ofrecer un CSL del 90%. Evalúe el OUL para dicha política.

Análisis:

En este caso tenemos

Demanda promedio por periodo, $D = 2{,}500$

Desviación estándar de la demanda por periodo, $\sigma_D = 500$

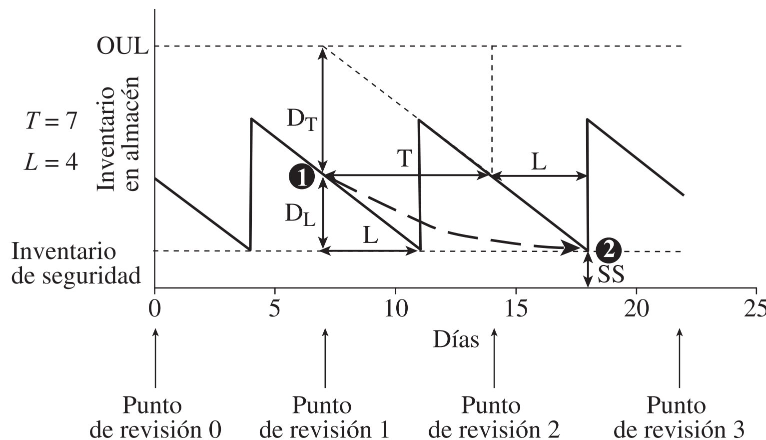


FIGURA 12-6 Perfil del inventario con una política de revisión periódica, $L = 4$ y $T = 7$.

Tiempo de espera promedio para el reabastecimiento, $L = 2$ semanas

Intervalo de revisión, $T = 4$ semanas

Primero obtenemos la distribución de la demanda durante el intervalo de tiempo $T + L$. Si se usa la ecuación 12.2, la demanda durante el intervalo de tiempo $T + L$ se distribuye normalmente, con

$$\text{Demanda promedio durante } T + L \text{ periodos, } D_{T+L} = (T + L)D = (2 + 4)2{,}500 = 15{,}000$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda durante } T + L \text{ periodos, } \sigma_{T+L} = \sqrt{T + L}\,\sigma_D$$
$$= (\sqrt{4 + 2})\,500 = 1{,}225$$

A partir de la ecuación 12.18, el inventario de seguridad requerido para un $CSL = 0.90$ está dado como

$$ss = F_S^{-1}(CSL) \times \sigma_{T+L} = NORMSINV(CSL) \times \sigma_{T+L}$$
$$= NORMSINV(0.90) \times 1{,}225 = 1{,}570 \text{ boxes}$$

Usando la ecuación 12.17, el OUL está dado como

$$OUL = D_{T+L} + ss = 15{,}000 + 1{,}570 = 16{,}570$$

Por lo tanto, cada cuatro semanas el gerente de la tienda ordena la diferencia entre 16,570 y el inventario actual.

Ahora podemos comparar el inventario de seguridad requerido cuando se usan las políticas de revisión continua y periódica. Con una política de revisión continua, el inventario de seguridad se emplea para cubrir la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de espera L. Con una política de revisión periódica, el inventario de seguridad se utiliza para cubrir la incertidumbre de la demanda durante el tiempo de espera y el intervalo de revisión $L + T$. Dado que debe tenerse en cuenta un aumento de la incertidumbre, las políticas de revisión periódica requieren un mayor nivel de inventario de seguridad. Este argumento puede confirmarse al comparar los resultados de los ejemplos 12-4 y 12-13. Para un CSL de 90%, el gerente de la tienda requiere un inventario de seguridad de 906 cajas cuando se utiliza una revisión continua y un inventario de seguridad de 1,570 cajas si se usa la revisión periódica.

Punto clave

Las políticas de reabastecimiento con revisión periódica requieren más inventario de seguridad que las políticas con revisión continua para el mismo tiempo de espera y nivel de disponibilidad de producto.

Por supuesto, las políticas de revisión periódica son más simples de implementar porque no requieren un seguimiento continuo del inventario. Dado el amplio uso de los códigos de barras y sistemas de puntos de venta, así como la aparición de la tecnología RFID, el seguimiento continuo de inventarios es mucho más común de lo que era hace una década. En algunos casos las compañías separan sus productos con base en su valor. Los productos de alto valor se administran mediante políticas de revisión continua y los productos de bajo valor se manejan usando políticas de revisión periódica. Esto tiene sentido si el costo del seguimiento continuo del inventario es mayor que el ahorro en el inventario de seguridad que resulta de cambiar todos los productos a una política de revisión continua.

12.6 ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO MULTIESCALÓN

En el análisis realizado hasta ahora hemos supuesto que cada etapa de la cadena de suministro tiene una demanda bien definida y una distribución de suministros que utiliza para establecer sus niveles de inventario de seguridad. En la práctica esto no es cierto para las cadenas de suministro multiescalón. Considere una cadena de suministro multiescalón sencilla con un proveedor que da servicio a un minorista que vende al consumidor final. El minorista necesita conocer la demanda, así como la incertidumbre del suministro para establecer los niveles del inventario de seguridad. Sin embargo, la incertidumbre del suministro se ve influenciada por el nivel de inventario de seguridad que el proveedor elige mantener. Si un pedido del minorista llega cuando el proveedor tiene suficiente inventario, el tiempo de espera del suministro es corto. Por el contrario, si el pedido del minorista llega cuando el proveedor no tiene existencias, el tiempo de espera del reabastecimiento

aumenta para el minorista. Así, si el proveedor aumenta su nivel de inventario de seguridad, el minorista puede reducir el inventario de seguridad que mantiene. Esto implica que los niveles del inventario de seguridad en todas las etapas de una cadena de suministro multiescalón deben estar relacionados.

Todo el inventario entre una etapa y el cliente final se llama *inventario de escalón*. El inventario de escalón en una tienda es sólo el inventario en la tienda o en la línea de suministro que llega al minorista. Por su parte, el inventario de escalón para un distribuidor incluye el inventario del distribuidor y el de todas las tiendas a las que éste atiende. En un entorno multiescalón los puntos de reorden y los niveles de pedido en cualquier etapa debe basarse en el inventario de escalón y no en el inventario local. Así, un distribuidor debe decidir sus niveles de inventario de seguridad con base en el nivel del inventario de seguridad que mantienen todos los minoristas a los que atiende. Cuanto más inventario de seguridad mantengan los minoristas, menor será el inventario de seguridad que debe mantener el distribuidor. A medida que los minoristas reducen el nivel de su inventario de seguridad, el distribuidor debe aumentarlo para garantizar un reabastecimiento regular a los minoristas.

Si todas las etapas en una cadena de suministro intentan manejar su inventario de escalón, el problema de cómo dividir el inventario entre las diversas etapas se vuelve importante. La retención de inventario en las etapas superiores de una cadena de suministro permite una mayor agregación y por lo tanto reduce la cantidad de inventario requerido. Sin embargo, mantener inventario en las etapas superiores aumenta la probabilidad de que el cliente final tenga que esperar porque el producto no está disponible en una etapa cercana a él. Así, en una cadena de suministro multiescalón debe tomarse una decisión acerca del nivel de inventario de seguridad a conservar en las diferentes etapas. Si la retención del inventario es cara y los clientes están dispuestos a tolerar una demora, es mejor aumentar la cantidad de inventario de seguridad mantenido en las etapas superiores, lejos del cliente final, para aprovechar las ventajas de la agregación. Si la retención del inventario no es costosa y los clientes son sensibles al tiempo de espera, es mejor llevar el inventario de seguridad hacia las etapas inferiores, más cerca del cliente final.

12.7 ROL DE LA TI EN LA ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO

Además de los fundamentos de formalización de los procedimientos de reabastecimiento del inventario para miles de SKUs, las dos contribuciones más significativas de los sistemas TI pueden ser la mejora de la visibilidad del inventario y una mejor coordinación en la cadena de suministro.

Un excelente ejemplo de los beneficios de la mejora en la visibilidad del inventario es Nordstrom, una cadena de tiendas en Estados Unidos. La compañía siempre ha sido muy buena en la administración de sus inventarios (los sistemas TI tuvieron un rol importante en este caso), pero históricamente había separado sus inventarios en línea de sus inventarios en tiendas. En septiembre de 2009, la compañía comenzó a integrar los inventarios de almacén en su sitio Web. Los clientes ahora pueden tener acceso al inventario sin importar dónde esté disponible. Si prefieren la entrega a domicilio, ahora Nordstrom puede utilizar el inventario de las tiendas para ofrecerles el servicio. Si, en cambio, prefieren recoger ellos mismos el artículo, Nordstrom les permite reservarlo para su entrega final. El aumento de la visibilidad del inventario permite a Nordstrom brindar a sus clientes un mejor servicio en línea, y a la vez consigue un mayor tráfico en sus tiendas. En 2010, Walmart también agregó una característica similar llamada "Pick Up Today" que permite a los clientes realizar pedidos en línea y recogerlos a las pocas horas en una tienda minorista. Los clientes reciben una alerta (por lo general a través de un mensaje de texto) cuando el pedido está listo. Redbox utiliza la visibilidad del inventario en cada una de sus máquinas expendedoras para guiar a los clientes al quiosco más cercano que tiene en inventario el DVD deseado. En cada ejemplo, el aumento de la visibilidad proporcionada por los sistemas de la TI permite a la empresa mejorar la disponibilidad del producto al cliente sin incrementar los inventarios.

Otra área en la cual la mejora de la visibilidad podría desempeñar un papel importante, es la ubicación del inventario en una tienda o en un almacén. Con frecuencia se da el caso de que una tienda o un almacén tiene un inventario disponible pero en el lugar equivocado. El resultado neto es una pérdida de la disponibilidad del producto a pesar de conservar inventario. Los buenos sistemas RFID tienen el potencial para hacer frente a este problema. Si bien ha habido un éxito limitado en el uso de sistemas RFID al nivel de los artículos en las tiendas (ha habido cierto éxito en las prendas de vestir de alto valor), no lo ha habido en áreas como el almacenamiento de piezas de repuesto para aviones.

Los sistemas IT también han desempeñado un rol importante en una mejor integración de las diferentes etapas de la cadena de suministro. Un ejemplo clásico es el programa de reabastecimiento continuo (CRP) establecido entre Procter and Gamble (P & G) y Walmart, que permitió a P & G reabastecer el inventario de pañales

en Walmart con base en la visibilidad de los inventarios disponibles y las ventas en las tiendas Walmart. Esta coordinación permitió que las dos empresas mejoraran los niveles de servicio y redujeran sus inventarios. Con el tiempo, el programa evolucionó hacia una planificación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos (analizado con mayor detalle en el capítulo 10), que permiten una mejor coordinación de la planificación y reabastecimiento, incluyendo a múltiples participantes de la cadena de suministro, mediante una mejor visibilidad de los inventarios y las ventas. Si bien cada uno de estos programas usa la TI como base, es importante reconocer que el éxito requiere importantes cambios en la organización y un compromiso del liderazgo como se comenta en el capítulo 10. Los buenos sistemas de la TI son una condición necesaria pero no suficiente para el éxito.

Es importante reconocer que el valor del sistema de TI en cada uno de los casos analizados anteriormente está estrechamente ligado a la exactitud de la información del inventario. La información inexacta del inventario conduce a decisiones erróneas y podría, en el peor de los casos, crear desconfianza entre los socios de la cadena de suministro que intentan coordinar las decisiones y acciones. Un estudio realizado por DeHoratius y Raman (2008) encontró que alrededor de 65% de los registros de inventario revisados para un minorista eran inexactos. Es decir, en 65% de los registros revisados, el inventario disponible no coincidía con el inventario que mostraba el sistema de la TI. Sin registros de inventario razonablemente precisos, el valor proporcionado por un sistema informático estará limitado.

12.8 ESTIMACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE SEGURIDAD EN LA PRÁCTICA

1. ***Tenga en cuenta que la demanda de la cadena de suministro es desigual.*** En la práctica un fabricante o distribuidor no ordena una unidad a la vez, sino que a menudo coloca pedidos en grandes lotes. Por lo tanto, la demanda observada en las diferentes etapas de la cadena de suministro tiende a ser desigual. La desigualdad se suma a la variabilidad de la demanda; por ejemplo, cuando se utiliza una política de revisión continua, la desigualdad puede hacer que el inventario caiga muy por debajo del ROP antes de que se coloque una orden de reabastecimiento. En promedio, el inventario caerá por debajo del ROP a la mitad del tamaño promedio de un pedido. En la práctica la desigualdad puede tomarse en cuenta al elevar el inventario de seguridad, sugerido por los modelos estudiados anteriormente, a la mitad del tamaño promedio de un pedido.

2. ***Ajuste las políticas de inventarios si la demanda es estacional.*** En la práctica, la demanda suele ser estacional, con la media y la desviación estándar de la demanda variando de acuerdo con la época del año. Así, un determinado punto de reorden o nivel de pedido puede corresponder a 10 días de demanda durante la temporada de demanda baja y a sólo 2 días de demanda durante la temporada de mayor demanda. Si el tiempo de espera es de una semana, es seguro que se produzca un desabasto durante la temporada alta. En una estacionalidad no es adecuado seleccionar una demanda promedio y una desviación estándar durante el año para evaluar los puntos fijos de reorden y los niveles de pedido. Tanto la media como la desviación estándar de la demanda deben ajustarse según la época del año, para reflejar los cambios en la demanda. Los ajustes correspondientes en los puntos de reorden, los niveles de pedido y los inventarios de seguridad deben hacerse a lo largo del año. Por lo general, los ajustes por cambios en la demanda media durante todo el año son más importantes que los ajustes por cambios en la variabilidad.

3. ***Use simulación para probar las políticas de inventario.*** Dado que es probable que la demanda no tenga una distribución normal y sea estacional, es una buena idea probar y ajustar las políticas de inventario por medio de una simulación por computadora antes de su implementación. La simulación debe utilizar un patrón de demanda que realmente refleje la demanda real, incluyendo cualquier desigualdad y estacionalidad. Las políticas de inventario obtenidas a partir de los modelos estudiados en este capítulo pueden probarse y ajustarse si esto es necesario para obtener los niveles de servicio deseados. Es posible construir simulaciones sorprendentemente poderosas utilizando Excel, como lo exponemos en el capítulo 13. La identificación de problemas por medio de una simulación puede ahorrar mucho tiempo y dinero en comparación con la opción de hacer frente a estos problemas una vez que la política de inventario está en funcionamiento.

4. ***Comience con un piloto.*** Incluso una simulación no puede identificar todos los problemas que pueden surgir al utilizar una política de inventarios. Una vez que se ha seleccionado una política de inventarios y probado mediante simulación, suele ser una buena idea comenzar con la implementación de un programa piloto de los productos que son representativos de todo el conjunto de productos en inventario.

Al comenzar con un piloto pueden resolverse muchos de los problemas (tanto en las propias políticas de inventario como en el proceso de aplicación de las políticas). La resolución de estos problemas antes de que la política se extienda a todos los productos puede ahorrar mucho tiempo y dinero.

5. ***Vigile los niveles de servicio.*** Una vez implementada una política de inventario, es importante que su desempeño sea supervisado y controlado. La vigilancia es fundamental, ya que permite que una cadena de suministro identifique cuándo una política no está funcionando bien y haga ajustes antes de que el desempeño de la cadena se vea afectado de manera significativa. La vigilancia requiere no sólo el seguimiento de los niveles de inventario, sino también el monitoreo de cualquier desabasto que pueda generarse. Históricamente, las empresas no han vigilado muy bien los desabastos en parte porque son difíciles de rastrear y en parte debido a la percepción de que el desabasto afecta al cliente pero no a la empresa en sí. El desabasto puede ser difícil de medir en una situación como la de un supermercado, donde el cliente simplemente no compra el producto cuando no está en el estante. Sin embargo, hay maneras sencillas de estimar los desabastos. En un supermercado, la fracción de tiempo que un estante no contiene un producto puede usarse para estimar la tasa de satisfacción. De hecho, los desabastos son fáciles de estimar en línea, donde puede medirse el número de clics en un producto del cual no se tienen existencias. Dada la fracción de clics que se convierten en pedidos y el tamaño promedio de un pedido, es posible estimar la demanda durante un desabasto.

6. ***Enfóquese en la reducción de los inventarios de seguridad.*** Como el inventario de seguridad suele ser una gran fracción del inventario total en una cadena de suministro, la capacidad de reducir el inventario de seguridad sin perjudicar la disponibilidad del producto puede aumentar significativamente la rentabilidad de la cadena. Esto es particularmente importante en la industria de la alta tecnología, donde los ciclos de vida de los productos son cortos. En este capítulo analizamos varios instrumentos administrativos que pueden ayudar a reducir los inventarios de seguridad sin perjudicar la disponibilidad. Los gerentes de la cadena de suministro deben centrarse continuamente en el uso de estos instrumentos para reducir los inventarios de seguridad.

12.9 RESUMEN

1. ***Comprender el rol del inventario de seguridad en una cadena de suministro.*** El inventario de seguridad ayuda a una cadena de suministro a proporcionar a los clientes un alto nivel de disponibilidad del producto a pesar de la incertidumbre de la oferta y la demanda. Se mantiene sólo en caso de que la demanda supere la cantidad pronosticada o que el suministro llegue después de lo esperado.

2. ***Identificar los factores que influyen en el nivel requerido del inventario de seguridad.*** El inventario de seguridad está influenciado por la incertidumbre de la demanda, los tiempos de espera de reabastecimiento, la variabilidad del tiempo de espera, y la disponibilidad del producto deseado. A medida que cualquiera de ellos aumenta, el inventario de seguridad requerido también se incrementa. El inventario de seguridad requerido también está influenciado por la política de inventarios implementada. Las políticas de revisión continua requieren menos inventario de seguridad que las políticas con revisión periódica.

3. ***Describir las diferentes medidas de disponibilidad del producto.*** Las tres medidas básicas de la disponibilidad del producto son la tasa de satisfacción del producto, la tasa de satisfacción de pedidos, y el nivel de servicio del ciclo. La tasa de satisfacción del producto es la fracción de la demanda de un producto que se satisface con éxito. La tasa de satisfacción de pedidos es la fracción de órdenes que se satisfacen completamente. El nivel de servicio del ciclo es la fracción de los ciclos de reabastecimiento en los que no se producen desabastos.

4. ***Utilizar los instrumentos administrativos disponibles para reducir el inventario de seguridad y mejorar la disponibilidad del producto.*** Puede reducirse el nivel del inventario de seguridad requerido y mejorarse la disponibilidad del producto si una cadena de suministro es capaz de reducir la incertidumbre de la demanda, los tiempos de espera del reabastecimiento, y la variabilidad de los tiempos de espera. Un cambio de la revisión periódica a la revisión continua también puede ayudar a reducir los inventarios. Otro instrumento administrativo clave para reducir los inventarios de seguridad requeridos consiste en aprovechar la agregación. Esto puede conseguirse mediante la agregación física de inventarios, la agregación virtual de inventarios utilizando la centralización de la información, la especialización de inventarios con base en el volumen de la demanda, el aprovechamiento de la sustitución, el uso de la comunalidad de componentes, y el aplazamiento de la diferenciación del producto.

Preguntas para debate

1. ¿Cuál es el rol del inventario de seguridad en la cadena de suministro?
2. Explique cómo una reducción en el tiempo de entrega puede ayudar a una cadena de suministro a reducir el inventario de seguridad sin perjudicar la disponibilidad del producto.
3. ¿Cuáles son los pros y los contras de las distintas medidas de disponibilidad del producto?
4. Describa los dos tipos de políticas de pedidos y el efecto que cada una de ellas tiene en el inventario de seguridad.
5. ¿Cuál es el efecto de la incertidumbre del suministro en el inventario de seguridad?
6. ¿Por qué Home Depot, con un número reducido de grandes almacenes, puede proporcionar un mayor nivel de disponibilidad de productos con inventarios menores que los de una cadena de tiendas de hardware como True-Value con muchas tiendas pequeñas?
7. ¿Por qué Amazon es capaz de proporcionar una gran variedad de libros y música con menos inventario de seguridad que una cadena de librerías que vende a través de tiendas minoristas?
8. En la década de 1980 la pintura se vendía por color y tamaño en tiendas de pintura. Hoy en día, la pintura se mezcla en la tienda de pintura de acuerdo con el color deseado. Comente, en su caso, el efecto de este cambio en los inventarios de seguridad de la cadena de suministro.
9. Una nueva tecnología permite que los libros se impriman en 10 minutos. Barnes & Noble ha decidido adquirir estas máquinas para cada tienda, y sólo debe elegir cuáles libros debe mantener en inventario y cuáles debe imprimir bajo demanda utilizando esta tecnología. ¿Usted recomendaría esta tecnología para los libros más vendidos o para los demás libros? ¿Por qué?
10. Considere a una compañía como Zara, que ha desarrollado la capacidad de producir con tiempos de entrega de reabastecimiento muy cortos. ¿Considera que esta capacidad es más valiosa para sus operaciones en línea o para sus operaciones en tiendas? ¿Por qué?
11. A medida que una empresa mejora en el aplazamiento (puede aplazar a un menor costo), ¿debe aumentar, no modificar o disminuir la variedad que ofrece? ¿Por qué?
12. ¿Qué capacidades pueden desarrollar los proveedores locales en países con costos altos si quieren competir eficazmente contra los proveedores extranjeros en países con costos bajos? Comente cómo impacta cada capacidad al nivel del inventario en la cadena de suministro.

Ejercicios

1. La demanda semanal de teléfonos celulares Motorola en una tienda Best Buy tiene una distribución normal, con una media de 300 y una desviación estándar de 200. Motorola tarda dos semanas en abastecer un pedido de Best Buy. La tienda tiene como objetivo un CSL de 95% y revisa su inventario de manera continua. ¿Cuánto inventario de seguridad de teléfonos celulares debe retener Best Buy? ¿Cuál debe ser su ROP?
2. Considere de nuevo la tienda Best Buy del ejercicio 1. La gerente de la tienda ha decidido seguir una política de revisión periódica para manejar el inventario de teléfonos celulares. Ella planea hacer un pedido cada tres semanas. Dado un CSL deseado de 95%, ¿qué cantidad de inventario de seguridad debe conservar la tienda? ¿Cuál debe ser su OUL?
3. Suponga que la tienda Best Buy del ejercicio 1 sigue la política de ordenar teléfonos celulares a Motorola en lotes de 500. La demanda semanal de teléfonos celulares Motorola en la tienda se distribuye normalmente, con una media de 300 y una desviación estándar de 200. Motorola tarda dos semanas en suministrar un pedido. Si la gerente de la tienda tiene como objetivo una tasa de satisfacción de 99%, ¿qué inventario de seguridad debe retener la tienda? ¿Cuál debe ser su ROP?
4. La demanda semanal de impresoras HP en una tienda de Sam's Club tiene una distribución normal, con una media de 250 y una desviación estándar de 150. El gerente de la tienda revisa continuamente el inventario y en la actualidad ordena 1,000 impresoras cada vez que el inventario se reduce a 600 impresoras. HP actualmente tarda dos semanas en cumplir con un pedido. ¿Cuánto inventario de seguridad debe retener la tienda? ¿Cuál es el CSL que logra Sam's Club como resultado de esta política? ¿Qué tasa de satisfacción alcanza la tienda?
5. De vuelta en la tienda de Sam's Club del ejercicio 4. Suponga que el tiempo de espera para el suministro de HP se distribuye normalmente, con una media de 2 semanas y una desviación estándar de 1.5 semanas. ¿Cuánto inventario de seguridad debe mantener Sam's Club, si quiere proporcionar un CSL de 95%? ¿Cómo cambia el inventario de seguridad requerido a medida que se reduce la desviación estándar del tiempo de espera de 1.5 semanas a cero en intervalos de 0.5 semanas?
6. Gap ha comenzado a vender a través de su canal en línea junto con sus tiendas minoristas. La administración debe decidir qué productos deben almacenarse en las tiendas minoristas y cuáles productos deben mantenerse en un almacén central para su venta únicamente a través del canal en línea. Gap tiene actualmente 900 tiendas en Estados Unidos, y la demanda semanal de pantalones grandes de color caqui en cada tienda tiene una distribución normal, con una media de 800 y una desviación estándar de 100. Cada par de pantalones cuesta $30. La demanda semanal para los suéteres de cachemira de color morado en cada tienda tiene una distribución normal, con una media de 50 y una desviación estándar de 50. Cada suéter cuesta $100. Gap tiene un costo de retención de 25% y maneja todos sus inventarios utilizando una política de revisión continua; el tiempo de espera del suministro para ambos productos es de cuatro semanas. El CSL objetivo es de 95%. ¿Cuánta reducción en el costo de retención por unidad vendida puede esperarse en Gap al trasladar cada uno de los dos productos de las tiendas al canal en línea? ¿Cuál de los dos productos debe almacenarse en las tiendas y cuál debe mantenerse en la bodega central del canal en línea de Gap? ¿Por qué? Suponga que la demanda es independiente de una semana a la siguiente.
7. Epson produce impresoras en su fábrica de Taiwán para venderlas en Europa. Las impresoras vendidas en diferentes países difieren en cuanto a la toma de corriente, así como en el idioma de los manuales. Actualmente Epson ensambla y empaca impresoras para su venta en distintos países. La distribución de la demanda semanal en los diferentes países tiene una distribución normal, con la media y la desviación estándar que se muestran en la tabla 12-6.

Tabla 12-6 Demanda semanal de impresoras Epson en Europa

País	Demanda media	Desviación estándar
Francia	3,000	2,000
Alemania	4,000	2,200
España	2,000	1,400
Italia	2,500	1,600
Portugal	1,000	800
Reino Unido	4,000	2,400

Suponga que la demanda en los diferentes países es independiente. Dado que el tiempo de espera para la fábrica en Taiwán es de ocho semanas, ¿qué tamaño requiere Epson para el inventario de seguridad en Europa si tiene como objetivo un CSL de 95%?

Epson decide construir un CD central en Europa. Enviará impresoras básicas (sin fuente de alimentación) al CD. Cuando reciba un pedido, el CD ensamblará las fuentes de alimentación, agregará los manuales y enviará las impresoras al país correspondiente. Las impresoras básicas se siguen fabricando en Taiwán con un tiempo de espera de ocho semanas. ¿Cuánto ahorro puede esperar Epson en el inventario de seguridad como resultado de este proyecto?

8. De vuelta en los datos de Epson del ejercicio 7. Cada impresora Epson cuesta $200 y el costo de retención es de 25%. ¿Cuánto ahorro puede esperar Epson en el costo de retención como resultado de la construcción de un CD europeo? Si el ensamblaje final en el CD europeo agrega $5 al costo de producción de cada impresora, ¿usted recomendaría el proyecto? Suponga que Epson es capaz de recortar los tiempos de producción y de espera en la entrega desde la fábrica en Taiwán a cuatro semanas usando buenos sistemas de información. ¿Cuánto ahorro puede esperar Epson en el costo de retención sin el CD europeo? ¿Cuánto ahorro puede esperar en el costo de retención con el CD europeo?

9. De vuelta con los datos de Epson del ejercicio 7. Suponga que la demanda en los distintos países no es independiente. La demanda en cualquier par de países se relaciona mediante un coeficiente de correlación r. Evalúe los ahorros en costos de retención que obtiene Epson como resultado de la construcción de un CD europeo a medida que r aumenta desde 0 (demanda independiente) hasta 1 (demanda perfectamente correlacionada positivamente) en intervalos de 0.2.

10. Motorola obtiene teléfonos celulares de su fabricante contratista con sede en China para atender el mercado estadounidense desde una bodega ubicada en Memphis, Tennessee. La demanda diaria en el almacén de Memphis se distribuye normalmente, con una media de 5,000 y una desviación estándar de 4,000. El almacén tiene como objetivo un CSL de 99%. La compañía debate sobre la posibilidad de utilizar transporte marítimo o aéreo desde China. La transportación por mar resulta en un tiempo de espera de 36 días y cuesta $0.50 por teléfono. El transporte aéreo resulta en un tiempo de espera de 4 días y cuesta $1.50 por teléfono. Cada teléfono cuesta $100 y Motorola utiliza un costo de retención de 20%. Dados los tamaños de lote mínimos, Motorola ordenaría 100,000 teléfonos a la vez (en promedio, una vez cada 20 días) si se utiliza el transporte marítimo, y 5000 teléfonos a la vez (en promedio, diariamente) si se utiliza el transporte aéreo. Para empezar, suponga que Motorola es propietaria del inventario en el momento de la entrega.

a. Suponiendo que Motorola sigue una política de revisión continua, ¿a qué punto de reorden y a qué inventario de seguridad debería aspirar el almacén si se utiliza transporte marítimo o aéreo? ¿Cuántos días de inventario de seguridad mantendría Motorola bajo cada política?

b. ¿Cuántos días de inventario del ciclo mantendría Motorola bajo de cada política?

c. Bajo una política de revisión continua, ¿usted recomendaría transporte marítimo o aéreo, si Motorola no es dueña del inventario mientras está en tránsito? ¿Su respuesta cambia si Motorola tiene la propiedad del inventario mientras está en tránsito?

11. De vuelta con los datos del problema del ejercicio 10. Suponga que Motorola sigue una política de revisión periódica. Dados los tamaños de lote por mar y por aire, Motorola tendría que hacer un pedido cada 20 días con el transporte marítimo, pero si utiliza el transporte aéreo podría pedir diariamente.

a. Suponga que Motorola sigue una política de revisión periódica. ¿A qué nivel de pedido e inventario de seguridad debería aspirar el almacén si se utiliza transporte marítimo o aéreo? ¿Cuántos días de inventario de seguridad mantendría Motorola bajo cada política?

b. ¿Cuántos días de inventario del ciclo mantendría Motorola bajo cada política?

c. Bajo una política de revisión periódica, ¿usted recomendaría transporte marítimo o aéreo? ¿Su respuesta cambia si Motorola tiene la propiedad del inventario mientras está en tránsito?

12. La farmacia DoorRed reabastece uno de sus medicamentos más vendidos aplicando una política de revisión continua. La demanda diaria para el fármaco se distribuye normalmente, con una media de 300 y una desviación estándar de 100. El mayorista puede procesar una solicitud de reabastecimiento en dos días. La política de reabastecimiento actual es pedir 1,500 unidades cuando hay 750 unidades disponibles.

a. ¿Cuál es el nivel de servicio del ciclo que logra DoorRed con su política?

b. ¿Cuál es la tasa de satisfacción que logra DoorRed con su política?

c. ¿Qué cambio lograría DoorRed en la tasa de satisfacción si aumentara su punto de reorden de 750 a 800?

13. De vuelta en la farmacia DoorRed del ejercicio 12. Para el fármaco del tema, DoorRed quiere ajustar su punto de reorden a partir de 750, para lograr una tasa de satisfacción del 99.9%. ¿Qué punto de reorden debe utilizar?

14. La farmacia DoorRed tiene 25 puntos de venta en la región de Chicago. La política actual es almacenar todos los tipos de medicamento en cada punto de venta. DoorRed está investigando la posibilidad de concentrar algunos de los fármacos en una ubicación central. El costo de entrega se incrementaría en $0.02 por unidad, si un medicamento se centralizara. El aumento de los gastos de envío proviene del costo adicional por operar el servicio de transporte desde el punto central hasta cada una de las otras ubicaciones. En cada punto de venta, DoorRed tiene un reabastecimiento semanal (se coloca un pedido de reabastecimiento una vez cada siete días) y los pedidos de reabastecimiento a los proveedores deben colocarse tres días antes de la entrega. DoorRed planea seguir ordenando una vez a la semana, incluso si el medicamento se centraliza. DoorRed utiliza un costo de retención de inventario de 20% y tiene como

objetivo un nivel de servicio del ciclo de 99%. Suponga que la demanda en las tiendas es independiente.

a. Considere un medicamento con una demanda diaria en cada tienda distribuida normalmente con una media de 300 y una desviación estándar de 50. El medicamento cuesta $10 por unidad. ¿Cuál es el costo de retención anual de los inventarios de seguridad en todas las tiendas minoristas? Si el medicamento se centralizara en un solo lugar, ¿cuál sería el costo anual de retención del inventario de seguridad en la ubicación central? ¿Cuál sería el aumento anual de los gastos de envío? ¿Usted recomendaría la centralización?

b. Considere ahora un medicamento con una demanda diaria en cada tienda distribuida normalmente, con una media de 5 y una desviación estándar de 4. El medicamento cuesta $10 por unidad. ¿Cuál es el costo de retención anual de los inventarios de seguridad en todas las tiendas minoristas? Si el medicamento se centralizara en un solo lugar, ¿cuál sería el costo anual de retención de los inventarios de seguridad en la ubicación central? ¿Cuál sería el aumento anual de los gastos de envío? ¿Usted recomendaría la centralización?

c ¿Su respuesta en a y b cambia si la demanda entre las tiendas tiene un coeficiente de correlación de 0.5?

15. Toyota ha decidido establecer almacenes regionales donde algunas variantes del Scion se personalizarán y se enviarán a los concesionarios según la demanda. Personalizar y enviar según la demanda elevará en $100 los costos de producción y transporte por automóvil. Cada automóvil cuesta $20,000 y Toyota tiene un costo de retención de 20%. Los autos en posesión del concesionario son propiedad de Toyota durante los primeros 90 días. Por lo tanto, para todos los propósitos prácticos, Toyota es dueño de todo el inventario, ya sea con los concesionarios o en el almacén regional. Considere una región con 5 distribuidores grandes y 30 distribuidores pequeños. Toyota ha dividido las variantes en dos grupos: modelos populares y modelos poco comunes. La demanda semanal para los dos tipos de variantes en los dos tipos de distribuidores se muestra en la tabla 12-7. El objetivo es proporcionar un nivel de servicio del ciclo de 95% usando una política de revisión continua. Los tiempos de reaprovisionamiento para los distribuidores y almacenes regionales son de cuatro semanas. La personalización y el envío de un almacén regional a un concesionario pueden hacerse en un día, y este tiempo puede pasarse por alto. Suponga que la demanda es independiente entre todos los concesionarios.

a. ¿Cuánto inventario de seguridad se requiere para una variante popular en un concesionario grande o uno pequeño?

b. ¿Cuál es el inventario de seguridad necesario si el inventario de la variante popular (para los distribuidores grandes y pequeños) se centraliza en el almacén regional de Toyota?

c. ¿Cuál es el inventario de seguridad requerido si el inventario de la variante popular para los concesionarios pequeños se centraliza en el almacén regional y para los concesionarios grandes está descentralizado?

d. Dado el costo adicional de personalización y transporte, ¿cuál estructura recomienda para la variante popular?

e. Repita los incisos a a d para la variante poco común.

f. ¿Cómo debe estructurar los inventarios Toyota si tiene almacenes regionales?

16. Orion es una compañía global que comercializa fotocopiadoras. Actualmente Orion vende 10 variantes de una copiadora, con todo el inventario en forma de bienes terminados. El componente principal que diferencia las copiadoras es el subensamble de impresión. Una idea que se ha de analizar es la introducción de elementos comunes en el subensamble de impresión de modo que el ensamble final pueda posponerse y los inventarios se mantengan en forma de componentes. En la actualidad cada copiadora cuesta $1,000 en términos de componentes. Al introducir la comunalidad en el subensamble de impresión los costos de los componentes aumentarán a $ 1,025. Una de las 10 variantes representa 80% de la demanda total. La demanda semanal para esta variante se distribuye normalmente, con una media de 1,000 y una desviación estándar de 200. Cada una de las restantes nueve variantes tiene una demanda semanal de 28 con una desviación estándar de 20. Orion tiene como objetivo proporcionar un nivel de servicio de 95%. El tiempo de reabastecimiento de los componentes es de cuatro semanas. El ensamble de la copiadora puede completarse en cuestión de horas. Orion administra todos sus inventarios siguiendo una política de revisión continua y utiliza un costo de retención de 20%.

a. ¿Cuánto inventario de seguridad debe mantener Orion para cada variante sin la comunalidad de componentes? ¿Cuál es el costo de retención anual?

b. ¿Cuánto inventario de seguridad debe mantener Orion en forma de componentes si utiliza elementos comunes para todas las variantes? ¿Cuál es el costo de retención anual? ¿Cuál es el incremento en el costo de los componentes utilizando la comunalidad? ¿La comunalidad se justifica en todas las variantes?

c. ¿A qué costo de la comunalidad se justificará la comunalidad completa?

d. Considere ahora el caso en el cual Orion utiliza la comunalidad de componentes sólo para las nueve variantes de baja demanda. ¿Cuánta reducción en el inventario de seguridad logra Orion en este caso? ¿Cuáles son sus ahorros en términos del costo anual de retención? ¿Es ésta la forma más restringida de la comunalidad justificada?

e. ¿A qué costo de la comunalidad se justifica la comunalidad a través de las variantes de baja demanda?

Tabla 12-7 Demanda semanal para concesionarios de automóviles

	Variante popular		Variante poco común	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Concesionario grande	50	15	8	5
Concesionario pequeño	10	5	2	2

Bibliografía

DeHoratius, Nicole y Ananth Raman. (Abril 2008). Inventory Record Inaccuracy: An Empirical Analysis. *Management Science* 54, pp. 627–641.

Federgruen, Awi y Yu-Sheng Zheng. (Julio-agosto 1992). An Efficient Algorithm for Computing an Optimal (r, Q) Policy in Continuous Review Stochastic Inventory Systems. *Operations Research* 40, pp. 808-813.

Feitzinger, Edward y Hau L. Lee. (Enero-Febrero 1997). Mass Customization at Hewlett Packard. *Harvard Business Review,* pp. 116-121.

Gallego, Guillermo. (Febrero 1998). New Bounds and Heuristics for (Q, r) Policies. *Management Science* 44, pp. 219-233.

Geary, Steve, Paul Childerhouse y Denis Towill. (Julio-agosto 2002). Uncertainty and the Seamless Supply Chain. *Supply Chain Management Review,* pp. 52-61.

Kopczak, Laura y Hau L. Lee. (2001). Hewlett-Packard Co.: Deskjet Printer Supply Chain (A). Caso GS3A de Stanford University.

Lee, Hau L. (1993). Design for Supply Chain Management: Concepts and Examples. En R. Sarin, ed. *Perspectives in Operations Management*, pp. 45-65. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.

Lee, Hau L. y Corey Billington. (Primavera de 1992). Managing Supply Chain Inventory. *Sloan Management Review,* pp. 65-73.

Lee, Hau L. Corey Billington, y Brent Carter. (Julio-agosto 1993). Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service Through Design for Localization. *Interfaces,* pp. 1-11.

Nahmias, Steven. (1997). *Production and Operations Analysis*. Burr Ridge, IL: Richard P. Irwin.

Signorelli, Sergio y James L. Heskett. (1984). Benetton (A). Caso 9–685–014 de Harvard Business School.

Silver, Edward A., David Pyke y Rein Petersen. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Nueva York: Wiley.

Tayur, Sridhar, Ram Ganeshan y Michael Magazine, eds. (1999). *Quantitative Models for Supply Chain Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Trent, Robert J. (Marzo-abril 2002). Managing Inventory Investment Effectively. *Supply Chain Management Review,* pp. 28-35.

Zipkin, Paul H. (2000). *Foundations of Inventory Management*. Boston: Irwin McGraw-Hill.

ESTUDIO DE CASO

Administración de inventarios en ALKO Inc.

ALKO comenzó en 1943 en un taller instalado en un garaje y fue creada por John Williams en su casa de Cleveland. John siempre había disfrutado de la decoración y en febrero de 1948 obtuvo una patente para uno de sus diseños de un dispositivo de iluminación. Se decidió a producirlo en su taller y trató de comercializarlo en el área de Cleveland. El producto se vendió bien y para 1957 había crecido hasta formar ALKO, una compañía de $3 millones. Sus lámparas eran bien conocidas por su calidad excepcional. Para entonces vendía un total de cinco productos distintos.

En 1963 John hizo pública su empresa. Desde entonces ALKO ha tenido mucho éxito y la compañía ha comenzado a distribuir sus productos a nivel nacional. Dado que la competencia se intensificó en la década de 1980, ALKO introdujo muchos nuevos diseños de aparatos de iluminación. La rentabilidad de la empresa, sin embargo, comenzó a deteriorarse a pesar de que ALKO había tenido gran cuidado en asegurar la calidad de sus productos. El problema era que los márgenes habían comenzado a disminuir a medida que se intensificaba la competencia en el mercado. En este punto la junta decidió que se requería una reorganización completa, comenzando desde arriba. Gary Fisher fue contratado para reorganizar y reestructurar la empresa.

Cuando Fisher llegó en 2009 se encontró con una empresa que se tambaleaba al borde del precipicio. Pasó los primeros meses tratando de entender el negocio de la empresa y la forma en que se estructuraba. Fisher se dio cuenta de que la clave estaba en el desempeño operativo. Aunque la compañía siempre se había destacado en el desarrollo y la producción de nuevos productos, históricamente había ignorado su sistema de distribución. La creencia en la empresa era que si hacía un buen producto, el resto se daba por sí mismo. Fisher creó un grupo de trabajo para revisar el sistema de distribución actual de la compañía y para proponer recomendaciones.

El sistema de distribución actual

El grupo de trabajo señaló que ALKO tenía 100 productos en su línea de 2009. Toda la producción se producía en tres instalaciones ubicadas en el área de Cleveland. Para efectos de ventas se dividieron los Estados Unidos en cinco regiones de estados contiguos, como se muestra en la figura 12-7. En cada una de estas regiones operaba un CD propiedad de ALKO. Los clientes hacían pedidos a los CD, los cuales trataban de satisfacerlos con producto en inventario. A medida que el inventario de cualquier producto disminuía, a su vez el CD hacía un pedido a las plantas. Las plantas de producción se programaban con base en los pedidos del CD. Los pedidos se transportaban de las plantas a los CD en cantidades TL porque los tama-

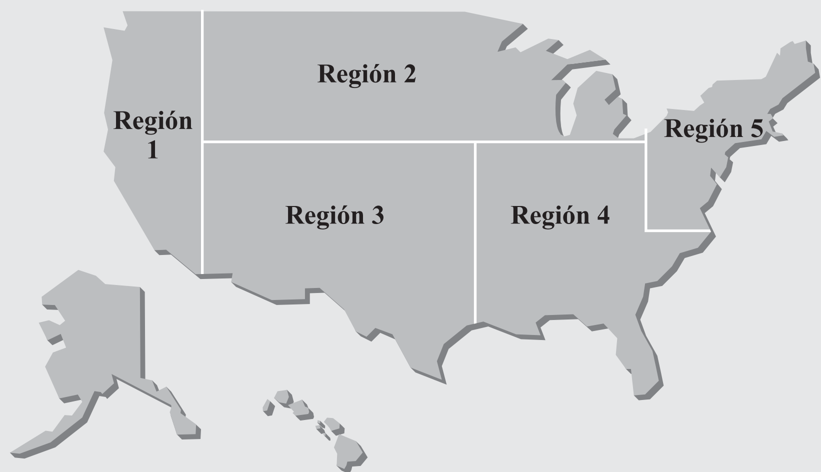


FIGURA 12-7 Regiones de ventas para ALKO.

ños de los pedidos tendían a ser grandes. Por otra parte, los envíos del CD al cliente eran LTL. ALKO utilizaba una empresa de transporte contratada para ambas ramas de la transportación. En 2009 los costos de TL de las plantas a los CD promediaban $0.09 por unidad. Los costos de transporte LTL de un CD a un cliente promediaban $0.10 por unidad. Había un promedio de cinco días entre el momento en que el CD hacía un pedido a la planta y el instante en que se entregaba.

La política en 2009 era almacenar cada tipo de artículo en todos los CD. Un estudio detallado de la línea de productos demostró que había tres categorías básicas de productos en términos del volumen de ventas. Éstos se clasificaron en los tipos Alto, Medio y Bajo. En la tabla 12-8 se muestran los datos de la demanda para un producto representativo de cada categoría. Los productos 1, 3 y 7 son representativos de las demandas alta, media y baja, respectivamente. De los 100 productos que vendía ALKO, 10 eran del tipo alto, 20 del tipo medio y 70 del tipo bajo. Cada una de sus demandas era idéntica a la de los productos representativos 1, 3 y 7, respectivamente.

El grupo de trabajo determinó que la capacidad de la planta permitía que cualquier orden razonable se produjera en cuatro días. Por lo tanto, una planta enviaba un pedido cuatro días después de su recepción, y después de un día en tránsito la orden llegaba al CD. El tiempo de reabastecimiento era entonces de cinco días. Los CD ordenaban mediante una política de revisión periódica con un intervalo de reorden de seis días. El costo de retención en que se incurría era de $0.15 por unidad por día, si la unidad estaba en tránsito o en inventario. Todos los CD mantenían inventarios de seguridad para garantizar un CSL de 95%.

Sistemas alternativos de distribución

El grupo de trabajo recomendó que ALKO construyera un centro de distribución nacional (CDN) en las afueras de Chicago. También recomendó que ALKO cerrara sus cinco CD y trasladara todo el inventario al CDN. La capacidad de almacenamiento se midió en términos del total de unidades transportadas por año (es decir, la capacidad de almacenamiento se da en términos de la demanda

Tabla 12-8 Distribución de la demanda diaria en ALKO

	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
Parte 1 M	35.48	22.61	17.66	11.81	3.36
Parte 1 DE	6.98	6.48	5.26	3.48	4.49
Parte 3 M	2.48	4.15	6.15	6.16	7.49
Parte 3 DE	3.16	6.20	6.39	6.76	3.56
Parte 7 M	0.48	0.73	0.80	1.94	2.54
Parte 7 DE	1.98	1.42	2.39	3.76	3.98

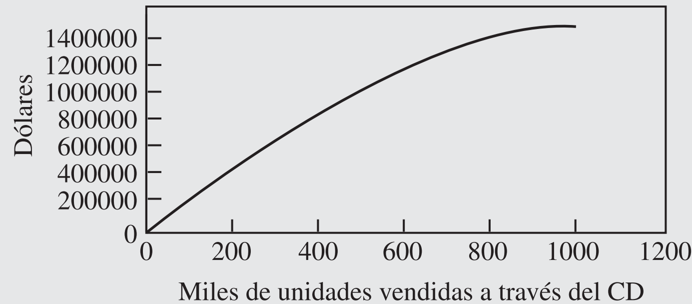


FIGURA 12-8 Costos de construcción del CDN.

anual abastecida desde el almacén). En la figura 12-8, se muestra el costo de construcción de un almacén. Por otra parte, ALKO espera recuperar $50,000 por cada almacén cerrado. El CSL del CDN seguiría siendo de 95%.

Como Chicago está cerca de Cleveland, el costo de transporte entrante desde las plantas hasta el CDN disminuiría a $0.05 por unidad. El tiempo de reabastecimiento total para el CDN de Chicago seguiría siendo de cinco días (cuatro para la producción + un día en tránsito). Sin embargo, dado el aumento de la distancia media, el costo de transporte saliente hacia los clientes desde el CDN se incrementaría a $0.24 por unidad.

Otras posibilidades que el grupo de trabajo consideró incluían la construcción de un centro de distribución nacional, manteniendo abiertos los CD regionales. En este caso algunos productos se almacenarían en los CD regionales, mientras otros se mantendrían en el CDN.

Decisión de Fisher

Gary Fisher ponderó el informe del grupo de trabajo. No contenía detallado ningún número que apoyara la decisión. Decidió evaluar los números antes de tomar su decisión.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el costo anual de inventario y distribución del sistema de distribución actual?
2. ¿Cuáles son los ahorros que resultarían al seguir la recomendación del grupo de trabajo y establecer un CDN? Evalúe los ahorros cuando el coeficiente de correlación de la demanda en cualquier par de regiones varía de 0 a 0.5 a 1.0. ¿Usted recomendaría el establecimiento de un CDN?
3. Proponga otras opciones que Fisher debiera considerar. Evalúe cada opción y recomiende un sistema de distribución para ALKO que sea más rentable. ¿Qué tanto depende su recomendación del coeficiente de correlación de la demanda entre las diferentes regiones?

ESTUDIO DE CASO

¿Debe aplazarse el empacado hasta el CD?

Penang Electronics (PE) es un fabricante por contrato que produce y empaca productos de marca propia para varias cadenas de tiendas como Target, Best Buy, Staples y Office Max. En cada caso el producto básico es idéntico con la única diferencia de la etiqueta y el empaque. Por lo tanto, la versión etiquetada y empacada del producto que se destina a Target no puede enviarse a Best Buy.

Actualmente se utiliza una planta de producción en Malasia para fabricar, etiquetar y empacar todos los productos. La planta de manufactura reabastece a un centro de distribución (CD) en San Luis desde donde el fabricante suministra todos los pedidos de los clientes. El tiempo de espera de la fabricación y el transporte de Penang a San Luis es de nueve semanas. PE utiliza una política de revisión continua para administrar sus inventarios en el CD y tiene como objetivo proporcionar un nivel de servicio del ciclo de 95% para cada producto de cada cliente.

El mes anterior había sido muy difícil porque Best Buy solicitó 5,000 unidades adicionales a lo que estaba disponible en el CD, mientras que Target ordenó 3,500 unidades menos y Staples ordenó 4,000 unidades menos. A pesar de que había suficiente inventario de productos disponibles en el CD (en la forma del producto básico), PE no pudo atender la solicitud de Best Buy porque el exceso de inventario disponible estaba etiquetado y empaquetado para otros clientes. El CD tenía inventario

sobrante de Target y Staples, que por desgracia no podía utilizarse para dar servicio a Best Buy. PE había perdido un negocio e inventario excedente, ¡y todo por las etiquetas y empaques equivocados!

Etiquetado y empacado en el CD

La vicepresidente de la cadena de suministro en PE propuso aplazar el etiquetado y empacado finales hasta el CD. Su lógica era que el aplazamiento del etiquetado y empacado hasta el CD permitiría a PE utilizar todos los inventarios disponibles para dar servicio a cualquier cliente. En particular, la situación que se presentó el mes pasado, cuando Best Buy no consiguió todo su pedido, podría haberse evitado a través del aplazamiento. Si el empacado se traslada al CD, el tiempo de espera de la fabricación y el transporte del producto básico desde Malasia seguirá siendo aproximadamente de nueve semanas. El etiquetado y empacado son pasos relativamente rápidos y se espera que el tiempo de respuesta del CD al cliente no cambie.

La gerencia del CD se opuso a esta idea porque implicaba un trabajo adicional que era diferente de lo que habían hecho hasta ahora. Un estudio detallado del proceso de producción había demostrado que el etiquetado y empacado en el CD costaba $2 por unidad más que el costo del etiquetado y empacado en Malasia. La gerencia del CD creía que este aumento en el costo se volvería contra ellos una vez que el proceso hubiera cambiado y que estarían bajo presión constante por reducir el costo. También creían que el trabajo necesario para satisfacer un pedido se complicaría y podría afectar negativamente el servicio al cliente.

Evaluación de las dos opciones

Para evaluar las dos opciones se formó un equipo con personal de manufactura y del CD. El equipo decidió centrar su análisis en tres grandes categorías de productos: computadoras, impresoras y escáneres, y cuatro grandes clientes: Target, Best Buy, Staples y Office Max. La demanda semanal para cada producto y cliente se muestra en la tabla 12-9. En cada caso "M" indica la demanda promedio semanal y "DE" la desviación estándar de la demanda semanal. Se supone que toda la demanda está normalmente distribuida. PE incurre en un costo total de $1,000 por computadora, $300 por impresora y $100 por escáner. Dado el corto ciclo de vida de estos productos, PE utiliza un costo de retención de 30% al tomar sus decisiones de inventario. El equipo analizó el efecto del aplazamiento sobre los inventarios de seguridad antes de hacer una recomendación final.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el costo anual de inventario del sistema actual en el que el producto se fabrica, etiqueta y empaca en Malasia antes de ser enviado al CD?
2. ¿Cómo cambiaría el costo de inventario si el etiquetado y el empacado se trasladaran al CD? Evalúe el cambio en los costos de inventario cuando el coeficiente de correlación de la demanda entre cualquier par de clientes varía de 0 a 0.5 a 1.0.
3. ¿Cómo debe configurar PE sus procesos de producción, etiquetado y empacado? ¿Su respuesta cambia si el costo adicional de etiquetado y empacado en el CD se reduce a $1 (en comparación con el valor actual de $2)?

Tabla 12-9 Distribución de la demanda semanal por producto y cliente

	Computadoras		Impresoras		Escáneres	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Target	1,000	700	2,000	1,000	4,000	1,000
Best Buy	700	600	1,500	800	4,500	900
Office Max	800	600	1,200	600	2,000	700
Staples	500	400	900	500	1,400	500

APÉNDICE 12A

La distribución normal

Una variable aleatoria continua X tiene una distribución normal con media μ y desviación estándar $\sigma > 0$ si la función de densidad de probabilidad $f(x, \mu, \sigma)$ de la variable aleatoria está dada por

$$f(x,\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \qquad \textbf{(12.20)}$$

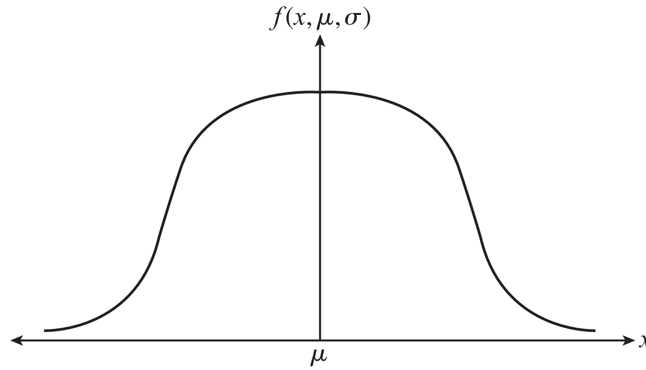


FIGURA 12-9 Función de densidad normal.

La función de densidad normal es como se muestra en la figura 12-9.

La función de distribución normal acumulada se denota por $F(x, \mu, \sigma)$ y es la probabilidad de que una variable aleatoria distribuida normalmente con media μ y desviación estándar σ tome un valor menor o igual a x. La función de distribución normal acumulada y la función de densidad están relacionadas se la manera siguiente:

$$F(x, \mu, \sigma) = \int_{X=-\infty}^{x} f(X, \mu, \sigma)dX$$

Una distribución normal con una media $\mu = 0$ y desviación estándar $\sigma = 1$ se conoce como la *distribución normal estándar*. La función de densidad normal estándar se denota por $f_S(x)$ y la función de distribución normal estándar acumulada se denota por $F_S(x)$. Por lo tanto,

$$f_S(x) = f(x, 0, 1) \text{ y } F_S(x) = F(x, 0, 1)$$

Dada una probabilidad p, la normal inversa $F^{-1}(p, \mu, \sigma)$ es el valor x tal que p es la probabilidad de que la variable aleatoria normal adquiera un valor inferior o igual a x. Por lo tanto, si $F(p, \mu, \sigma) = $ p, entonces $x = F^{-1}(p, \mu, \sigma)$. La inversa de la distribución normal estándar se denota por $F_S^{-1}(p)$. Entonces,

$$F_S^{-1}(p) = F^{-1}(p, 0, 1).$$

APÉNDICE 12B

La distribución normal en Excel

Las siguientes funciones de Excel pueden usarse para evaluar diversas funciones de distribución normal:

$$F(x, \mu, \sigma) = \qquad (x, \mu, \sigma, 1) \qquad \textbf{(12.21)}$$

$$f(x, \mu, \sigma) = \qquad (x, \mu, \sigma, 0) \qquad \textbf{(12.22)}$$

$$F^{-1}(p, \mu, \sigma) = \qquad (p, \mu, \sigma) \qquad \textbf{(12.23)}$$

A continuación se presentan las funciones de Excel para evaluar diversas funciones de distribución normal estándar.

$$F_S(x) = NORMDIST(x, 0, 1, 1) \text{ o } NORMSDIST(x) \qquad \textbf{(12.24)}$$

$$f_S(x) = NORMDIST(x, 0, 1, 0) \qquad \textbf{(12.25)}$$

$$F_S^{-1}(p) = NORMSINV(p) \qquad \textbf{(12.26)}$$

APÉNDICE 12C

Costo de escasez esperado por ciclo

Objetivo:

Establecer una fórmula alternativa para el costo de escasez esperado (ESC) para ser evaluado utilizando Excel.

Análisis:

Dado un punto de reorden de $ROP = D_L + ss$, el ESC está dado por

$$ESC = \int_{x=ROP}^{\infty} (x - ROP) f(x) dx$$
$$= \int_{x=D_L+ss}^{\infty} (x - D_L - ss) f(x) dx$$

Como la demanda durante el tiempo de espera se distribuye normalmente con una media D_L y una desviación estándar σ_L, tenemos (usando la ecuación 12.20)

$$ESC = \int_{x=D_L+ss}^{\infty} (x - D_L - ss) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L} e^{-(x-D_L)^2/2\sigma_L^2} dx$$

Al sustituir lo siguiente:

$$z = \frac{(x - D_L)}{\sigma_L}$$

Esto significa que

$$dx = \sigma_L dz$$

Así que tenemos

$$ESC = \int_{z=ss/\sigma_L}^{\infty} (z\sigma_L - ss) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$
$$= -ss \int_{z=ss/\sigma_L}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$
$$+ \sigma_L \int_{z=ss/\sigma_L}^{\infty} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Recuerde que $F_S(.)$ es la función de distribución acumulada y $f_S(.)$ es la función de densidad de probabilidad de la distribución normal estándar con media 0 y desviación estándar 1. Usando la ecuación 12.20 y la definición de la distribución normal estándar, tenemos

$$1 - F_S(y) = \int_{z=y}^{\infty} f_s(z) dz = \int_{z=y}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Al sustituir $w = z^2/2$ en la expresión de ESC resulta que

$$ESC = -ss[1 - F_S(ss/\sigma_L)] + \sigma_L \int_{w=ss^2/2\sigma_L{}^2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-w} dw$$

o bien

$$ESC = -ss[1 - F_S(ss/\sigma_L)] + \sigma_L f_s(ss/\sigma_L)$$

Si se usan las ecuaciones 12.24 y 12.25, ESC puede evaluarse empleando Excel de la manera siguiente:

$$ESC = -ss[1 - NORMDIST(ss/\sigma_L, 0, 1, 1)] + \sigma_L NORMDIST(ss/\sigma_L, 0, 1, 0)$$

APÉNDICE 12D

Evaluación del inventario de seguridad para productos de lento movimiento

Objetivo:

Diseñar un procedimiento de evaluación del inventario de seguridad para productos de lento movimiento cuya demanda puede aproximarse utilizando una distribución de Poisson.

Análisis:

Para los productos de lento movimiento, la distribución normal no es una buena estimación de la distribución de la demanda. Un mejor método consiste en utilizar la distribución de Poisson donde la demanda llega a una tasa D. En tal distribución se sabe que las políticas (Q, r) resultan ser óptimas. Bajo una política (Q, r), se coloca un pedido siempre que la posición del inventario caiga hasta o por debajo del punto de reorden r, y el tamaño de orden es nQ, donde n es el número de lotes de tamaño Q necesarios para elevar la posición del inventario hasta el intervalo $(r, r + Q)$.

Para la distribución de Poisson, dado un tiempo de espera L, la demanda promedio durante el tiempo de espera está dada por LD y la varianza de la demanda durante el tiempo de espera es $\sigma^2 = \sqrt{LD}$. Federgruen y Zheng (1992), proporcionan algoritmos eficientes para obtener los Q y r. Los resultados que se presentan aquí están basados en Gallego (1992), quien ha encontrado heurísticas eficaces para resolver el problema.

Si H es el costo de retención por unidad por unidad de tiempo, p es el costo de escasez fijo por unidad por unidad de tiempo, y S el costo de pedido fijo por lote, Gallego sugiere un tamaño de lote Q^*, donde

$$Q^* = Mín\left(\sqrt{2}, \sqrt[4]{1 + \left(\frac{(H + p)L}{2S}\right)^2}\right)\sqrt{\frac{2DS}{H}} \tag{12.27}$$

Gallego demuestra que al usar el tamaño de lote Q^* se obtiene un costo que no es superior a 7% del tamaño de lote óptimo. El punto de reorden r^* puede obtenerse empleando un procedimiento descrito por Federgruen y Zheng (1992). El costo promedio en el largo plazo $C(r, Q)$ de una política (r, Q), cuando la demanda es de Poisson, está dado por

$$C(r,Q) = \frac{DS}{Q} + \frac{1}{Q}\sum_{y=r+1}^{r+Q}\left\{H\sum_{i=0}^{y}(y - i)p_i + p\sum_{i=y+1}^{\infty}(i - y)p_i\right\}, \tag{12.28}$$

donde

$$P_i = \frac{e^{DL}(DL)^i}{i!}, i = 0, 1, \ldots$$

El punto de reorden r^* se obtiene insertando el tamaño de lote Q^* desde la ecuación 12.27 a la ecuación 12.28 y buscando el valor r^* que minimiza el costo $C(r, Q^*)$. Dado que $C(r, Q^*)$ es unimodal [como lo demuestran Federgruen y Zheng (1992)], r^* puede obtenerse usando una búsqueda binaria sobre los números enteros.

13



Determinación del nivel óptimo de disponibilidad del producto

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Identificar los factores que afectan el nivel óptimo de disponibilidad de producto y evaluar el nivel de servicio del ciclo óptimo.
2. Utilizar los instrumentos administrativos que mejoren la rentabilidad de la cadena de suministro a través de los niveles de servicio óptimos.
3. Comprender las condiciones bajo las cuales el aplazamiento es valioso para la cadena de suministro.
4. Asignar una capacidad de oferta limitada entre varios productos para maximizar las ganancias esperadas.

En este capítulo exploramos el proceso para determinar el nivel óptimo de disponibilidad de los productos que se ofrecerán a los clientes. En el capítulo se examinan los componentes que intervienen en el cálculo del nivel de servicio óptimo y las diversas formas en que puede realizarse este cálculo. Analizamos y demostramos la forma en que pueden emplearse los diferentes instrumentos administrativos para mejorar la rentabilidad de la cadena de suministro, al aumentar el nivel de disponibilidad de los productos y reducir los inventarios.

13.1 IMPORTANCIA DEL NIVEL DE DISPONIBILIDAD DEL PRODUCTO

El nivel de disponibilidad del producto se mide usando el nivel de servicio del ciclo o la tasa de satisfacción, que son indicadores de la cantidad de demanda de los clientes que se satisface desde el inventario disponible. El nivel de disponibilidad del producto, también referido como el nivel de servicio al cliente, es una de las medidas principales de la respuesta de una cadena de suministro. Una cadena de suministro puede usar un alto nivel de disponibilidad de los productos para mejorar su capacidad de respuesta y atraer a los clientes, incrementando así los ingresos para la cadena de suministro. Sin embargo, un alto nivel de disponibilidad de los productos requiere grandes inventarios, lo cual eleva los costos de la cadena de suministro. Por lo tanto, una cadena de suministro debe lograr un equilibrio entre el nivel de disponibilidad y el costo de inventario. El nivel óptimo de disponibilidad del producto es aquel que maximiza la rentabilidad de la cadena de suministro.

En el cuarto trimestre de 2008 los inventarios de Estados Unidos se dispararon en $6.2 mil millones debido a la rápida disminución de la demanda que afectó a minoristas y fabricantes. Para algunos fabricantes la situación se vio exagerada por el exceso de inventario de materias primas, como el acero y plástico, que habían producido previendo aumentos de precios. Los minoristas también fueron afectados y algunos de ellos, como Saks Fifth Avenue, redujeron 70% los precios durante la temporada de vacaciones para estimular la demanda. El exceso de inventarios y la caída de la demanda llevó a varios minoristas, como Steve and Barry, y Circuit City, a declararse en quiebra durante este periodo.

En contraste, Nintendo perdió un estimado de $1.3 mil millones en ventas durante la temporada navideña de 2007, a causa de un incumplimiento en la creciente demanda mundial de su consola de videojuegos Wii. Estos ejemplos dejan claro que si se tiene un nivel de disponibilidad del producto demasiado alto o demasiado bajo se presenta un importante efecto sobre los beneficios de la cadena de suministro.

Si el nivel óptimo de disponibilidad es alto o bajo depende de dónde una empresa en particular crea que puede maximizar las utilidades. Nordstrom se ha centrado en proporcionar un alto nivel de disponibilidad de los productos y ha utilizado su reputación para convertirse en una cadena de tiendas departamentales exitosa. Sin embargo, los precios en Nordstrom son más altos que en una tienda de descuento, donde el nivel de disponibilidad de los productos es menor. Las centrales eléctricas aseguran que nunca (o casi nunca) se quedan sin combustible, porque un apagón es muy costoso al significar varios días de pérdida de producción. Algunas plantas eléctricas tratan de mantener varios meses de suministro de combustible para evitar cualquier probabilidad de que éste se agote. Por el contrario, la mayoría de los supermercados conservan suministros de productos sólo por pocos días y las situaciones de desabasto se presentan con cierta frecuencia.

La Internet permite al cliente realizar sus compras fácilmente en una tienda alternativa si la primera opción no está disponible. Este entorno competitivo ejerce presión sobre los minoristas en línea para aumentar su nivel de disponibilidad. Al mismo tiempo, la importante competencia en precios ha reducido los precios en línea. Los minoristas en línea con exceso de inventario tienen dificultades para ser rentables. Así, el hecho de proporcionar el nivel óptimo de disponibilidad de los productos es una clave para el éxito en línea.

En los ejemplos descritos anteriormente, las empresas proporcionan diferentes niveles de disponibilidad del producto. Cada gerente de la cadena de suministro debe utilizar los factores que influyan en el nivel óptimo de disponibilidad del producto para establecer el nivel recomendado e identificar los instrumentos administrativos que aumenten el superávit de la cadena de suministro. A continuación identificamos los factores que afectan el nivel óptimo de la disponibilidad del producto.

13.2 FACTORES QUE AFECTAN EL NIVEL ÓPTIMO DE DISPONIBILIDAD DEL PRODUCTO

Para comprender los factores que influyen en el nivel óptimo de disponibilidad del producto, considere a L.L. Bean, una gran empresa de pedidos por correo que vende prendas de vestir. Uno de los productos que L.L. Bean vende son chaquetas para esquiar. La temporada de venta de estas chaquetas va de noviembre a febrero. El comprador de L.L. Bean suele solicitar al fabricante los suministros para toda la temporada antes de que empiece la temporada de ventas. Para proporcionar un alto nivel de disponibilidad del producto se requiere comprar de un gran número de chaquetas. A pesar de que un alto nivel de disponibilidad del producto parezca asegurar la satisfacción de toda la demanda que surja, también es probable que al final de la temporada resulte un gran número de chaquetas sin vender, con lo que L.L. Bean pierde dinero por las prendas que no vende. Por el contrario, un bajo nivel de disponibilidad del producto es probable que resulte en pocas chaquetas sin vender. Sin embargo, es muy probable que L.L. Bean tenga que rechazar a clientes dispuestos a comprar chaquetas porque están agotadas. En este escenario L.L. Bean pierde ganancias potenciales por la pérdida de clientes. Al momento de decidir el nivel de disponibilidad del producto, el comprador de L.L. Bean debe equilibrar la pérdida por tener demasiadas chaquetas sin vender (en caso de que el número de chaquetas ordenadas sea superior a la demanda) y la pérdida de utilidades por el alejamiento de clientes (en caso de que el número de chaquetas ordenadas sea inferior a la demanda).

El *costo por exceso de inventario* se indica como C_o y es la pérdida en que incurre una compañía por cada unidad no vendida al final de la temporada de ventas. El *costo por escasez de inventario* se indica como C_u y es el margen de pérdida de una compañía por cada venta que se pierde cuando no hay existencias disponibles. El costo por escasez de inventario debe incluir el margen de pérdida por las ventas actuales, así como por las futuras si el cliente no vuelve. En resumen, los dos factores clave que influyen en el nivel óptimo de disponibilidad del producto son

- Costo por exceso de inventario del producto.
- Costo por escasez de inventario del producto.

Ilustramos y desarrollamos esta relación en el contexto de una decisión de compra en L.L. Bean. El primer punto a observar es que la decisión sobre un nivel óptimo de disponibilidad del producto sólo tiene

Tabla 13-1 Distribución de la demanda de parkas en L.L. Bean

Demanda D_i (en centenas)	Probabilidad p_i	Probabilidad acumulada de que la demanda sea igual o menor a D_i (P_i)	Probabilidad de que la demanda sea mayor que D ($1 - P_i$)
4	0.01	0.01	0.99
5	0.02	0.03	0.97
6	0.04	0.07	0.93
7	0.08	0.15	0.85
8	0.09	0.24	0.76
9	0.11	0.35	0.65
10	0.16	0.51	0.49
11	0.20	0.71	0.29
12	0.11	0.82	0.18
13	0.10	0.92	0.08
14	0.04	0.96	0.04
15	0.02	0.98	0.02
16	0.01	0.99	0.01
17	0.01	1.00	0.00

sentido en el contexto de la incertidumbre de la demanda. Tradicionalmente, muchas empresas han pronosticado un consenso de la estimación de la demanda sin ninguna medida de incertidumbre. En este contexto, las compañías no toman una decisión sobre el nivel de disponibilidad, sino que simplemente ordenan el pronóstico consensado. Durante la última década las empresas han desarrollado una mejor apreciación de la incertidumbre y han comenzado a desarrollar pronósticos que incluyen una medida de la incertidumbre. La incorporación de la incertidumbre y la decisión sobre el nivel óptimo de disponibilidad del producto pueden aumentar las utilidades en comparación con el uso de un pronóstico consensado.

L.L. Bean tiene un comité de compras que decide la cantidad que debe ordenarse de cada producto. Con base en la demanda de los últimos años, los compradores han estimado la distribución de la demanda de la prenda para mujeres esquiadoras llamada parka, de color rojo, como se muestra en la tabla 13-1. Se trata de una desviación de la práctica tradicional de utilizar la demanda promedio histórica como el pronóstico consensado. Para simplificar el análisis, se supone que toda la demanda se encuentra en cientos de parkas. El fabricante también requiere que los pedidos de L.L. Bean estén en múltiplos de 100. En la tabla 13-1, p_i es la probabilidad de que la demanda sea igual a D_i, y P_i es la probabilidad de que la demanda sea menor o igual a D_i. En la tabla 13-1 evaluamos la demanda esperada de parkas como

$$\text{Demanda esperada} = \sum D_i p_i = 1{,}026$$

Bajo la anterior política de ordenar el valor esperado, los compradores habrían ordenado 1,000 parkas. Sin embargo, la demanda es incierta y la tabla 13-1 muestra que hay una probabilidad de 51$ de que la demanda sea de 1,000 o menos. Por lo tanto, una política de ordenar un millar de parkas resulta en un nivel de servicio del ciclo de 51% en L.L. Bean. El comité de compras debe decidir sobre un tamaño de pedido y un nivel de servicio del ciclo que maximicen las utilidades de la venta de parkas en L.L. Bean.

La pérdida en que incurre L.L. Bean por una parka sin vender y las ganancias que obtiene por cada parka vendida influyen en la decisión de compra. El precio de cada parka para L.L. Bean es $c = \$45$ y tiene un precio de catálogo de $p = \$100$. Las parkas que no se venden al final de la temporada se ponen a la venta en la tienda de descuento a $50. La retención de una parka en el inventario y su transporte a la tienda de descuento le cuesta $10 a L.L. Bean. Por lo tanto, L.L. Bean recupera un valor de rescate de $s = \$40$ por cada parka que no vende al final de la temporada. L.L. Bean obtiene una utilidad de $p - c = \$55$ por cada parka que vende e incurre en una pérdida de $c - s = \$5$ por cada parka rezagada que vende en la tienda de descuento.

La utilidad esperada por pedir 1,000 parkas está dada por

$$\text{Utilidad esperada} = \sum_{i=4}^{10}[D_i(p - c) - (1{,}000 - D_i)(c - s)]p_i + \sum_{i=11}^{17} 1{,}000(p - c)p_i$$

$$= [400 \times 55 - 600 \times 5] \times 0.01 + [500 \times 55 - 500 \times 5] \times 0.02 + [600 \times 55 - 400 \times 5] \times 0.04 + [700 \times 55 - 300 \times 5] \times 0.08 + [800 \times 55 - 200 \times 5] \times 0.09 + [900 \times 55 - 100 \times 5] \times 0.11 + [1000 \times 55 - 0 \times 5] \times 0.16 + 1000 \times 55 \times 0.20 + 1000 \times 55 \times 0.11 + 1000 \times 55 \times 0.10 + 1000 \times 55 \times 0.04 + 1000 \times 55 \times 0.02 + 1000 \times 55 \times 0.01 + 1000 \times 55 \times 0.01$$

$$= \$49{,}900$$

Para decidir si se ordenan 1,100 parkas, el comité de compras debe determinar el efecto de comprar 100 unidades adicionales. Si se piden 1,100 parkas, las 100 adicionales se venden (para obtener una ganancia de $5,500) en caso de que la demanda sea de 1,100 o superior. De lo contrario, las 100 unidades extra se envían a la tienda de descuento con una pérdida de $500. En la tabla 13-1 puede verse que hay una probabilidad de 0.49 de que la demanda sea 1,100 o superior y una probabilidad de 0.51 de que la demanda sea 1,000 o menor. Por lo tanto, deducimos lo siguiente:

$$\text{Ganancia esperada de las 100 parkas extra} = 5{,}500 \times \text{Prob(demanda} \geq 1{,}100) - 500 \times \text{Prob(demanda} < 1{,}100) = \$5.500 \times 0.49 - \$500 \times 0.51 = \$2{,}440$$

Entonces, la ganancia total esperada por ordenar 1,100 parkas es de $52,340 dólares, que es casi 5% más que la ganancia esperada por pedir 1,000 parkas. Aplicando el mismo método evaluamos la contribución marginal de cada grupo adicional de 100 parkas como en la tabla 13-2. Observe que la contribución marginal esperada es positiva hasta 1,300 parkas, pero es negativa desde ese punto en adelante. Por lo tanto, el tamaño del pedido óptimo es de 1,300 parkas. En la Tabla 13-2 tenemos

$$\text{Ganancia esperada por pedir 1,300 parkas} = \$49{,}900 + \$2{,}440 + \$1{,}240 + \$580 = \$54{,}160$$

Esto es un aumento de más de 8% de la rentabilidad en relación con la política de ordenar el valor esperado de 1,000 parkas.

En la figura 13-1 se muestra una gráfica con las ganancias totales esperadas contra la cantidad pedida. La cantidad ordenada óptima maximiza la utilidad esperada. Para L.L. Bean, la cantidad óptima de pedido es de 1,300 parkas, lo que proporciona un CSL de 92%. Observe que con un CSL de 0.92, L.L. Bean tiene una tasa de satisfacción mucho mayor. Si la demanda es de 1,300 o menos, L.L. Bean alcanza una tasa de satisfacción de 100%, porque toda la demanda está satisfecha. Si la demanda es superior a 1,300 (por ejemplo,

Tabla 13-2 Contribución marginal esperada de cada grupo adicional de 100 parkas

Cientos adicionales	Beneficio marginal esperado	Costo marginal esperado	Contribución marginal esperada
11th	5,500 × 0.49 = 2,695	500 × 0.51 = 255	2,695 − 255 = 2,440
12th	5,500 × 0.29 = 1,595	500 × 0.71 = 355	1,595 − 355 = 1,240
13th	5,500 × 0.18 = 990	500 × 0.82 = 410	990 − 410 = 580
14th	5,500 × 0.08 = 440	500 × 0.92 = 460	440 − 460 = −20
15th	5,500 × 0.04 = 220	500 × 0.96 = 480	220 − 480 = −260
16th	5,500 × 0.02 = 110	500 × 0.98 = 490	110 − 490 = −380
17th	5,500 × 0.01 = 55	500 × 0.99 = 495	55 − 495 = −440

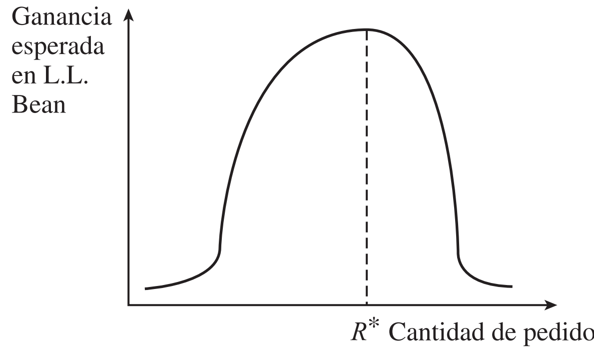


FIGURA 13-1 Ganancia esperada como una función de la cantidad de pedido en L.L. Bean.

D), una parte de la demanda (D – 1,300) no se satisface. En este caso se alcanza una tasa de satisfacción de 1,300/D. En general, la tasa de satisfacción lograda en L.L. Bean si se ordenan 1,300 parkas está dada por

$$\begin{aligned} fr &= 1 \times \text{Prob(demanda} \leq 1{,}300) + \sum_{D_i > 1{,}300} (1{,}300/D_i)p_i \\ &= 1 \times 0.92 + (1300/1400) \times 0.04 + (1300/1500) \times \\ &\quad 0.02 + (1300/1600) \times 0.01 + (1300/1700) \times 0.01 \\ &= 0.99 \end{aligned}$$

Así, con una política de ordenar 1,300 parkas, L.L. Bean satisface, en promedio, 99% de su demanda con las parkas en inventario.

En el ejemplo de L.L. Bean tenemos un costo por exceso de inventario de $C_o = c - s = \$5$ y un costo por escasez de inventario de $C_u = p - c = \$55$. A medida que estos costos cambian, el nivel óptimo de disponibilidad de los productos también se modifica. En la siguiente sección desarrollamos la relación entre el CSL deseado y los costos por exceso y escasez de inventario en artículos estacionales.

Nivel de servicio del ciclo óptimo para productos estacionales con un solo pedido en una temporada

En esta sección centramos la atención en los productos estacionales, como las chaquetas de esquiar, por lo cual todos los artículos sobrantes deben eliminarse al final de la temporada. El supuesto es que los productos sobrantes de la temporada anterior no se utilizan para satisfacer la demanda de la temporada actual. Suponga un precio de venta por unidad p, con un costo de c y un valor residual s. Consideramos las siguientes entradas:

C_o: Costo por exceso de inventario en una unidad, $C_o = c - s$
C_u: Costo por escasez de inventario en una unidad, $C_u = p - c$
CSL*: nivel de servicio del ciclo óptimo Cantidad de pedido
O^*: tamaño de pedido óptimo correspondiente

CSL* es la probabilidad de que la demanda durante la temporada sea igual o inferior a O^*. En el nivel de servicio del ciclo óptimo CSL*, la contribución marginal de la compra de una unidad adicional es cero. Si la cantidad de pedido se eleva de O^* a $O^* + 1$, la unidad adicional se vende si la demanda es mayor que O^*. Esto ocurre con una probabilidad de 1 – CSL* y resulta en una contribución de $p - c$. Por lo tanto tenemos

$$\text{Utilidad esperada de la compra de una unidad extra} = (1 - \text{CSL}^*)(p - c)$$

La unidad adicional permanece sin venderse si la demanda es igual o inferior a O^*. Esto ocurre con una probabilidad de CSL* y resulta en un costo de $c - s$. Entonces tenemos

$$\text{Costo esperado de comprar una unidad extra} = \text{CSL}^*(c - s)$$

Así, la contribución marginal esperada por aumentar el tamaño del pedido de O^* a $O^* + 1$ está dada por

$$(1 - \text{CSL}^*)(p - c) - \text{CSL}^*(c - s)$$

Como la contribución marginal esperada debe ser 0 en el nivel de servicio del ciclo óptimo tenemos

$$\text{CSL}^* = \text{Prob}(\text{demanda} \leq O^*) = \frac{p - c}{p - s} = \frac{C_u}{C_u + C_o} = \frac{1}{1 + (C_o/C_u)} \qquad \textbf{(13.1)}$$

En el apéndice 13A se proporciona una deducción más rigurosa de la fórmula mencionada anteriormente. El CSL* óptimo también se conoce como *percentil crítico*. La cantidad de pedido óptima resultante maximiza la ganancia de la empresa. Si la demanda durante la temporada se distribuye normalmente con una media μ y una desviación estándar σ, la cantidad de pedido óptima está dada por

$$O^* = F^{-1}(\text{CSL}^*, \mu, \sigma) = NORMINV(CSL^*, \mu, \sigma) \qquad \textbf{(13.2)}$$

Cuando la demanda se distribuye normalmente con una media μ y una desviación estándar σ, la ganancia esperada por pedir O unidades está dada por

$$\text{Utilidad esperada} = (p - s)\mu F_s\left(\frac{O - \mu}{\sigma}\right) - (p - s)\sigma f_s\left(\frac{O - \mu}{\sigma}\right) - O(c - s)F(O, \mu, \sigma) + O(p - c)[1 - F(O, \mu, \sigma)]$$

La deducción de esta fórmula se proporciona en los apéndices 13B y 13C. Aquí F_S es la función de la distribución acumulada normal estándar y f_S es la función de densidad normal estándar analizada en el apéndice 12A del capítulo 12. La ganancia esperada por ordenar O unidades se evalúa en Excel utilizando las ecuaciones 12.21, 12.24 y 12.25 de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\text{Utilidades esperadas} = {} & (p - s)\mu NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 1] \\ & - (p - s)\sigma NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 0] \\ & - O(c - s)NORMDIST(O, \mu, \sigma, 1) \\ & + O(p - c)[1 - NORMDIST(O, \mu, \sigma, 1)]\end{aligned} \qquad \textbf{(13.3)}$$

El ejemplo 13-1 ilustra el uso de las ecuaciones 13.1 y 13.2 para obtener el nivel de servicio del ciclo óptimo y la cantidad de pedido.

EJEMPLO 13-1 Evaluación del nivel de servicio óptimo para artículos estacionales

El gerente de Sportmart, una tienda de artículos deportivos, debe decidir sobre el número de esquís a comprar para la temporada de invierno. Con base en los datos de demanda histórica y las previsiones meteorológicas para el año, la gerencia pronostica una demanda distribuida normalmente, con una media $\mu = 350$ y una desviación estándar $\sigma = 100$. Cada par de esquís cuesta $c = \$100$ y se vende en $p = \$250$. Los esquís no vendidos al final de la temporada se ponen a la venta en $85. Suponga que mantener un par de esquís en inventario durante la temporada cuesta $5. ¿Cuántos esquís deberá ordenar el gerente si desea maximizar las ganancias esperadas?

Análisis:

En este caso tenemos

$$\text{Valor de salvamento} = s = \$85 - \$5 = \$80$$
$$\text{Costo de escasez de inventario} = C_u = p - c = \$250 - \$100 = \$150$$
$$\text{Costo de exceso de inventario} = C_o = c - s = \$100 - \$80 = \$20$$

A partir de la ecuación 13.1 deducimos que el CSL óptimo es

$$\text{CSL}^* = \text{Prob}(\text{demanda} \le O^*) = \frac{C_u}{C_u + C_o} = \frac{150}{150 + 20} = 0.88$$

Con base en la ecuación 13.2, el tamaño óptimo de pedido es

$$O^* = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.88, 350, 100) = 468$$

Por lo tanto, para el gerente de Sportmart es óptimo ordenar 468 pares de esquís, aun cuando las ventas esperadas sean de 350. En este caso, debido a que el costo por escasez de inventario es mucho más alto que el costo por exceso de inventario, es mejor que la gerencia ordene más que el valor esperado para cubrir la incertidumbre de la demanda.

Con la ecuación 13.3, las ganancias esperadas por ordenar O^* unidades son

$$\begin{aligned}\text{Utilidades esperadas} &= (p - s)\mu NORMDIST\left[(O^* - \mu)/\sigma, 0, 1, 1)\right] \\ &\quad - (p - s)\sigma NORMDIST[(O^* - \mu)/\sigma, 0, 1, 0)] \\ &\quad - O^*(c - s)NORMDIST(O^*, \mu, \sigma, 1) \\ &\quad + O^*(p - c)[1 - NORMDIST(O^*, \mu, \sigma, 1)] \\ &= 59{,}500\ NORMDIST(1.18, 0, 1, 1) - 17{,}000\ NORMDIST(1.18, 0, 1, 0) \\ &\quad - 9{,}360\ NORMDIST(468, 350, 100, 1) \\ &\quad + 70{,}200\ [1 - NORMDIST(468, 350, 100, 1)] = \$49{,}146\end{aligned}$$

La utilidad esperada por pedir 350 pares de esquís puede evaluarse como $45,718. Por lo tanto, ordenar 468 pares resulta en una ganancia esperada, que es casi 8% más que la ganancia obtenida al ordenar el valor esperado de 350 pares.

Cuando se ordenan O unidades, una empresa se queda con inventario en exceso o con inventario escaso, dependiendo de la demanda. Cuando la demanda se distribuye normalmente, con un valor esperado μ y una desviación estándar σ, la cantidad de inventario en exceso esperada al final de la temporada está dada por

$$\text{Inventario en exceso esperado} = (O - \mu)F_S\left(\frac{O - \mu}{\sigma}\right) + \sigma f_S\left(\frac{O - \mu}{\sigma}\right)$$

La deducción de esta fórmula se proporciona en el apéndice 13D. La fórmula puede evaluarse utilizando Excel de la manera siguiente:

$$\begin{aligned}\text{Exceso de inventario esperado} &= (O - \mu)NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 1] \\ &\quad + \sigma NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 0)]\end{aligned} \qquad \textbf{(13.4)}$$

El déficit de inventario esperado al final de la temporada está dado por

$$\text{Escasez de inventario esperada} = (\mu - O)\left[1 - F_S\left(\frac{O - \mu}{\sigma}\right)\right] + \sigma f_S\left(\frac{O - \mu}{\sigma}\right)$$

La deducción de esta fórmula se proporciona en el apéndice 13E. La fórmula puede evaluarse utilizando Excel de la manera siguiente:

$$\text{Escasez de inventario esperada} = (\mu - O)[1 - NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 1]] + \sigma NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 0] \quad \textbf{(13.5)}$$

El ejemplo 13-2 ilustra el uso de las ecuaciones 13.4 y 13.5 para evaluar el exceso y la escasez de inventario esperados como resultado de una política de pedidos.

EJEMPLO 13-2 Evaluación del exceso y de la escasez de inventario esperados

La demanda de esquís en Sportmart se distribuye normalmente con una media $\mu = 350$ y una desviación estándar $\sigma = 100$. El gerente ha decidido ordenar 450 pares de esquís para la próxima temporada. Evalúe el exceso y la escasez de inventario esperados como resultado de esta política.

Análisis:

Tenemos un tamaño de pedido $O = 450$. Un exceso de inventarios ocurre si la demanda durante la temporada es inferior a 450. El exceso de inventario esperado puede obtenerse mediante la ecuación 13.4 como

$$\begin{aligned}\text{Exceso de inventario esperado} &= (O - \mu) NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 1] \\ &\quad + \sigma NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 0] \\ &= (450 - 350) NORMDIST[(450 - 350)/100, 0, 1, 1] \\ &\quad + 100\ NORMDIST[(450 - 350)/100, 0, 1, 0] = 108\end{aligned}$$

Por lo tanto, la política de ordenar 450 pares de esquís resulta en un exceso de inventario esperado de 108 pares. Una escasez de inventario se produce si la demanda durante la temporada es superior a 450 pares. La escasez de inventario esperada puede evaluarse usando la ecuación 13.5, de la manera siguiente:

$$\begin{aligned}\text{Escasez de inventario esperada} &= (\mu - O)[1 - NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 1)] \\ &\quad + \sigma NORMDIST[(O - \mu)/\sigma, 0, 1, 0)] \\ &= (350 - 450)[1 - NORMDIST(450 - 350)/100, 0, 1, 1)] \\ &\quad + 100\ NORMDIST[(450 - 350)/100, 0, 1, 0] = 8\end{aligned}$$

Por lo tanto, la política de ordenar 450 pares de esquís resulta en una escasez de inventario esperado de 8 pares. Observe que el exceso y la escasez de inventario esperados son positivos en casi todos los casos. Este resultado puede parecer contra lo intuido inicialmente, pero tiene sentido ya que los valores utilizados para calcular un exceso o escasez de inventario son siempre mayores o iguales a cero. Por ejemplo, si la demanda es de 500 chaquetas y se tienen 450 en inventario, hay una escasez de inventario de 50 y un exceso de inventario de 0 (no de -50). Esto garantiza que el valor esperado de cada indicador será mayor o igual a cero.

Pedidos realizados una sola vez en presencia de descuentos por cantidad

en esta sección analizamos a un comprador que debe hacer un solo pedido cuando el vendedor ofrece un descuento en el precio con base en la cantidad comprada. Esta situación puede surgir en el contexto de los artículos estacionales como las prendas de vestir, por las que el fabricante ofrece un precio más bajo por unidad, si las cantidades de pedido superan un umbral dado. Estas decisiones también surgen al final del ciclo de vida de un producto o pieza de repuesto. La demanda futura de los productos o piezas de repuesto es incierta y el comprador tiene una sola oportunidad de ordenar. El comprador debe tener en cuenta el descuento al seleccionar el tamaño del pedido.

Considere a un distribuidor de piezas de repuesto que tiene una última oportunidad para pedir piezas antes de que el fabricante deje de producirlas. Cada pieza tiene un precio unitario de venta p, con un costo para el minorista (sin descuento) de c y un valor residual s. El fabricante ha ofrecido un precio de descuento c_d si el minorista ordena al menos k unidades. El minorista puede tomar su decisión de pedido dando los siguientes pasos:

1. Usando $C_o = c - s$ y $C_u = p - c$, evalúe el nivel de servicio del ciclo óptimo CSL* y un tamaño de orden S sin descuento utilizando las ecuaciones 13.1 y 13.2, respectivamente. Evalúe la ganancia esperada por ordenar O usando la ecuación 13.3.
2. Usando $C_o = c_d - s$ y $C_u = p - c_d$, evalúe el nivel de servicio del ciclo óptimo CSL_d^* y el tamaño de pedido O_d^* con descuento utilizando las ecuaciones 13.1 y 13.2, respectivamente. Si $O_d^* \geq K$, evalúe la ganancia esperada por ordenar O_d^* unidades usando la ecuación 13.3. Si $O_d^* < K$, evalúe la ganancia esperada por ordenar K unidades utilizando la ecuación 13.3.
3. Ordene O^* unidades si la ganancia en el paso 1 es mayor. Si la ganancia en el paso 2 es mayor, ordene O_d^* unidades si $O_d^* \geq K$ o K unidades si $O_d^* < K$.

Ilustramos el procedimiento anterior en el ejemplo 13-3.

EJEMPLO 13-3 Evaluación del nivel de servicio con descuentos por cantidad

SparesRUs, un minorista de auto partes, debe decidir sobre el pedido de un modelo de frenos con 20 años de antigüedad. El fabricante tiene previsto suspender la producción de estos frenos al concluir la presente corrida de producción. SparesRUs ha pronosticado que la demanda restante de estos frenos se distribuye normalmente con una media de 150 y una desviación estándar de 40. Los frenos tienen un precio de $200. Cuando éstos no se venden resultan inútiles y no tienen ningún valor de salvamento. El fabricante planea vender cada freno por $50 si el pedido es de menos de 200 frenos y $45 si la orden es por lo menos de 200 frenos. ¿Cuántos frenos debe ordenar SparesRUs?

Análisis:

En el paso 1 calculamos la cantidad de pedido óptima al precio regular de $c = \$50$:

$$\text{Costo de la escasez de inventario} = C_u = p - c = \$200 - \$50 = \$150$$

$$\text{Costo del exceso de inventario} = C_o = c - s = \$50 - \$0 = \$50$$

Con base en la ecuación 13.1, deducimos que el CSL óptimo es

$$\text{CSL}^* = \text{Prob}(\text{demanda} \leq O^*) = \frac{C_u}{C_u + C_o} = \frac{150}{150 + 50} = 0.75$$

Utilizando la ecuación 13.2, el tamaño de pedido óptimo es

$$O^* = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.75, 150, 40) = 177$$

A partir de la ecuación 13.3, la ganancia esperada si SparesRUs no busca el descuento es

$$\text{Ganancia esperada por ordenar 177 unidades} = \$19{,}958$$

En el paso 2 consideramos el precio de descuento c_d = \$45 y obtenemos

$$\text{Costo de la escasez de inventario} = C_u = p - c_d = \$200 - \$45 = \$155$$

$$\text{Costo del exceso de inventario} = C_o = c_d - s = \$45 - \$0 = \$45$$

Con base en la ecuación 13.1, deducimos que el CSL óptimo con el precio de descuento es

$$\text{CSL}_d^* = \text{Prob}(\text{demanda} \le O_d^*) = \frac{C_u}{C_u + C_o} = \frac{155}{155 + 45} = 0.775$$

Utilizando la ecuación 13.2, el tamaño de pedido óptimo es

$$O_d^* = NORMINV(\text{CSL}_d^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.775, 150, 40) = 180$$

Dado que $180 < 200$, el minorista debe ordenar al menos 200 frenos para beneficiarse del descuento. De este modo, la ganancia esperada por ordenar 200 unidades se calcula con la ecuación 13.3 como

Ganancias esperadas por ordenar 200 unidades a \$45 cada una = \$20,595

Por lo tanto, para SparesRUs es óptimo ordenar 200 frenos a fin de tomar ventaja del descuento por cantidad. El exceso de inventario esperado puede calcularse con la ecuación 13.4 con un valor de 52.

Nivel de servicio del ciclo deseado para productos almacenados en forma continua

En esta sección nos enfocamos en productos como el detergente que se pide en forma repetida por una tienda minorista como Walmart, la cual utiliza el inventario de seguridad para aumentar el nivel de disponibilidad y disminuir la probabilidad de desabasto entre las entregas sucesivas. Si hay detergente sobrante en un ciclo de reabastecimiento, éste puede venderse en el siguiente ciclo. No tiene que ser puesto a la venta a un menor costo. Sin embargo, se incurre en un costo de retención cuando el producto se conserva de un ciclo al siguiente. El gerente de Walmart se enfrenta con el problema de decidir cuál es el CSL al que debe aspirar.

Es necesario considerar dos escenarios extremos:

1. Toda la demanda que surge cuando hay desabasto del producto queda pendiente y se satisface después, cuando se reabastece el inventario.
2. Toda la demanda que surge cuando hay desabasto del producto se pierde.

En realidad casi siempre se presenta un punto intermedio con parte de la demanda perdida y ciertos clientes que regresan a comprar cuando el producto está en inventario. A continuación se considerarán los dos casos extremos.

Suponemos que la demanda por unidad de tiempo se distribuye normalmente, además de las entradas siguientes:

Q: Tamaño del lote de reabastecimiento
S: Costo fijo asociado con cada pedido
ROP: Punto de reorden
D: Demanda promedio por unidad de tiempo
σ: Desviación estándar de la demanda por unidad de tiempo
ss: Inventario de seguridad (recuerde que $ss = \text{ROP} - D_L$)
CSL: Nivel de servicio del ciclo
C: Costo unitario
h: Costo de retención como una fracción del costo del producto por unidad de tiempo
H: Costo de retener una unidad durante una unidad de tiempo. $H = hC$

LA DEMANDA DURANTE EL DESABASTO SE RESERVA Consideramos primero el caso en que toda la demanda surgida mientras hay desabasto del producto se reserva como pendiente. Debido a que no se pierde demanda, la minimización de costos equivale a maximizar las ganancias. Como ejemplo, considere un detergente que se vende en la tienda de Walmart. El gerente de la tienda ofrece un vale con un descuento de C_u a cada cliente que quiera comprar detergente cuando no haya en inventario. Esto asegura que todos esos clientes volverán cuando el inventario se reabastezca. Así, C_u es el costo unitario de reservar o de escasez de inventario.

Si el gerente de la tienda aumenta el nivel de inventario de seguridad, habrá más órdenes satisfechas con base en el inventario, lo cual reduce las reservaciones. Esto disminuye el costo de reservar pendientes o de escasez de inventario. Sin embargo, el costo por retener inventario aumenta. Para comenzar, consideramos los costos y ganancias de retener una unidad adicional de inventario de seguridad en cada ciclo de reabastecimiento. Si el inventario de seguridad se incrementa de *ss* (que proporciona un nivel de servicio del ciclo, CSL) a $ss + 1$, la cadena de suministro incurre en un costo por mantener la unidad adicional de inventario durante un ciclo de reabastecimiento (que tiene una duración de Q/D). La unidad adicional de inventario de seguridad es beneficiosa (el benficio es igual al costo C_u por escasez de inventario) si la demanda durante el ciclo de reabastecimiento es tal que se consumen más de *ss* unidades del inventario de seguridad [esto sucede con una probabilidad $(1 - \text{CSL})$]. Por lo tanto tenemos lo siguiente:

Aumento del costo por ciclo de reabastecimiento del inventario de seguridad adicional de 1 unidad = $(Q/D)H$

Beneficio por ciclo de reabastecimiento del inventario de seguridad adicional de 1 unidad = $(1 - \text{CSL})C_u$

En este caso, el nivel de servicio del ciclo óptimo se obtiene igualando el costo adicional y la ganancia, de la manera siguiente

$$\text{CSL}^* = 1 - \left[\frac{HQ}{DC_u}\right] \qquad \textbf{(13.6)}$$

Dado el nivel de servicio del ciclo óptimo, el inventario de seguridad requerido puede evaluarse usando la ecuación 12.9 si la demanda se distribuye normalmente.

En la ecuación 13.6 se observa que el aumento del tamaño de lote Q permite al gerente de la tienda de Walmart reducir el nivel de servicio del ciclo y por lo tanto el inventario de seguridad habido. Esto ocurre porque al aumentar el tamaño del lote se incrementa la tasa de satisfacción y, por lo tanto, se reduce la cantidad reservada. Sin embargo, es necesario tener cuidado ya que un aumento en el tamaño del lote incrementa el inventario del ciclo. En general, el aumento del tamaño del lote no es una manera eficaz de que una empresa mejore la disponibilidad del producto.

Si se conoce el costo de desabasto, es posible utilizar la ecuación 13.6 para obtener el nivel de servicio del ciclo adecuado (y por lo tanto el nivel apropiado del inventario de seguridad). En muchas situaciones prácticas es difícil estimar el costo de desabasto. En tal situación, es posible que un gerente desee evaluar el costo de desabasto que implica la política de inventario actual. Cuando no puede encontrarse un costo preciso de desabasto, este costo implícito del desabasto al menos da una idea de si el inventario debe incrementarse, disminuirse o mantenerse en el mismo nivel. En el ejemplo 13-4 mostramos cómo puede usarse la ecuación 13.6 para imputar un costo de desabasto dada una política de inventario.

EJEMPLO 13-4 Imputación del costo de desabasto dada una política de inventario

La demanda semanal de detergente en Walmart tiene una distribución normal, con una media de $\mu = 100$ galones y una desviación estándar de $\sigma = 20$. El tiempo de reabastecimiento es $L = 2$ semanas. El gerente de la tienda Walmart ordena 400 galones cuando el inventario disponible se reduce a 300. Cada galón de detergente cuesta \$3. El costo de retención en que incurre Walmart es de 20%. Si toda la demanda no satisfecha se reserva y se prorroga para el próximo ciclo, evalúe el costo de desabasto implícito en la política de reabastecimiento actual.

Análisis:

En este caso tenemos

$$\text{Superficie del lote, } Q = 400 \text{ galones}$$

$$\text{Punto de pedido, ROP} = 300 \text{ galones}$$

$$\text{Demanda promedio al año, } D = 100 \times 52 = 5{,}200$$

$$\text{La desviación estándar de la demanda por semana, } \sigma_D = 20$$

$$\text{Costo unitario, } C = \$3$$

$$\text{Costo de retención como una fracción del costo del producto por año, } h = 0.2$$

$$\text{Costo por retener una unidad durante un año, } H = hC = \$0.6$$

$$\text{Tiempo de espera, } L = 2 \text{ semanas}$$

Entonces tenemos

$$\text{Demanda promedio durante el tiempo de espera, } D_L = 200 \text{ galones}$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, } \sigma_L = \sigma_D\sqrt{L} = 20\sqrt{2} = 28.3$$

Como la demanda sigue una distribución normal, podemos usar las ecuaciones 12.4 y 12.21 para evaluar el CSL bajo la política de inventario actual:

$$\text{CSL} = F(\text{ROP}, D_L, \sigma_L) = NORMDIST(300, 200, 28.3, 1) = 0.9998$$

Así podemos deducir que el costo de desabasto imputado (usando la ecuación 13.6) está dado por

$$C_u = \frac{HQ}{(1 - \text{CSL})D} = \frac{0.6 \times 400}{0.0002 \times 5{,}200} = \$230.8 \text{ por galón}$$

Aquí la implicación es que si cada desabasto de un galón de detergente le cuesta \$230.8 a Walmart, el CSL actual de 0.9998 es óptimo. En este ejemplo en particular puede afirmarse que el gerente de la tienda está reteniendo demasiado inventario, debido a que es poco probable que el costo de retención del detergente sea de \$230.8 por galón.

Un gerente puede utilizar el análisis anterior para decidir si el costo de desabasto imputado y, por lo tanto, la política de inventario son razonables.

LA DEMANDA DURANTE EL DESABASTO SE PIERDE Cuando la demanda insatisfecha durante el periodo de desabasto se pierde, el nivel de servicio del ciclo óptimo CSL^* está dado por

$$\text{CSL}^* = 1 - \frac{HQ}{HQ + DC_u} \tag{13.7}$$

Hemos supuesto que C_u es el costo de perder una unidad de la demanda durante el periodo de desabasto. Al comparar las ecuaciones 13.6 y 13.7, observe que por el mismo costo de escasez de inventario, una cadena de suministro debe ofrecer un nivel de servicio del ciclo superior, si las ventas se pierden en vez de que se reserven. En el ejemplo 13-5, se evalúa el nivel de servicio del ciclo óptimo cuando la demanda se pierde durante el periodo de desabasto.

EJEMPLO 13-5 Evaluación del nivel de servicio óptimo cuando la demanda insatisfecha se pierde

Considere la situación del ejemplo 13-4, pero inicie con el supuesto de que toda la demanda durante un desabasto se pierde. Suponga que el costo de perder una unidad de la demanda es de \$2. Evalúe el nivel de servicio del ciclo óptimo que el gerente de la tienda Walmart debería establecer como objetivo.

Análisis:

En este caso tenemos

$$\text{Tamaño del lote, } Q = 400 \text{ galones}$$

$$\text{Demanda promedio por año, } D = 100 \times 52 = 5{,}200$$

$$\text{Costo de retener una unidad durante un año, } H = \$0.6$$

$$\text{Costo de escasez de inventario, } C_u = \$2$$

Con base en la ecuación 13.7, el nivel de servicio del ciclo óptimo está dado por

$$CSL^* = 1 - \frac{HQ}{HQ + DC_u} = 1 - \frac{0.6 \times 400}{0.6 \times 400 + 2 \times 5{,}200} = 0.98$$

El gerente de la tienda Walmart debería establecer como objetivo un nivel de servicio del ciclo de 98%.

13.3 INSTRUMENTOS ADMINISTRATIVOS PARA MEJORAR LA RENTABILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Una vez identificados los factores que influyen en el nivel óptimo de disponibilidad del producto, ahora centramos la atención en las acciones que puede tomar un administrador para mejorar la rentabilidad de la cadena de suministro. En la sección 13.2 se demostró que los costos de exceso y escasez de inventario tienen un impacto directo tanto en el nivel de servicio del ciclo óptimo como en la rentabilidad. Así, dos instrumentos administrativos evidentes para aumentar la rentabilidad son

1. El incremento del valor de salvamento de cada unidad aumenta la rentabilidad (así como el nivel de servicio del ciclo óptimo).
2. La disminución de la pérdida marginal por un desabasto aumenta la rentabilidad (al permitir un menor nivel de servicio del ciclo óptimo).

Las estrategias para aumentar el valor de salvamento incluyen la venta a tiendas de descuento, de modo que las unidades sobrantes no sean simplemente eliminadas. Algunas compañías, como Sport Obermeyer, que vende ropa de invierno en Estados Unidos, comercializa el excedente en América del Sur, donde el invierno corresponde al verano norteamericano. El mayor valor de salvamento del inventario excedente permite que Sport Obermeyer proporcione un mayor nivel de disponibilidad de los productos en Estados Unidos y aumente sus ganancias. El crecimiento de los liquidadores en línea como Overstock.com ayuda a los minoristas a incrementar su valor de salvamento en productos excedentes. El aumento del valor de rescate de las unidades sobrantes permite a una empresa incrementar sus ganancias al ofrecer un mayor nivel de disponibilidad de los productos, debido a que reduce su costo de exceso de inventario.

Las estrategias para disminuir el margen perdido en un desabasto incluyen el establecimiento de abastecimiento de respaldo (que puede ser más costoso) de modo que los clientes no se pierdan para siempre. La práctica de la compra de productos de un competidor en el mercado para satisfacer la demanda del cliente se observa y se justifica por el razonamiento anterior. En el sector de suministro de MRO, McMaster-Carr y W.W Grainger, dos grandes competidores, también son importantes clientes uno del otro.

El costo de escasez de inventario también puede reducirse al proporcionar al cliente un producto sustituto. La disminución del costo por escasez de inventario permite que una empresa aumente las ganancias

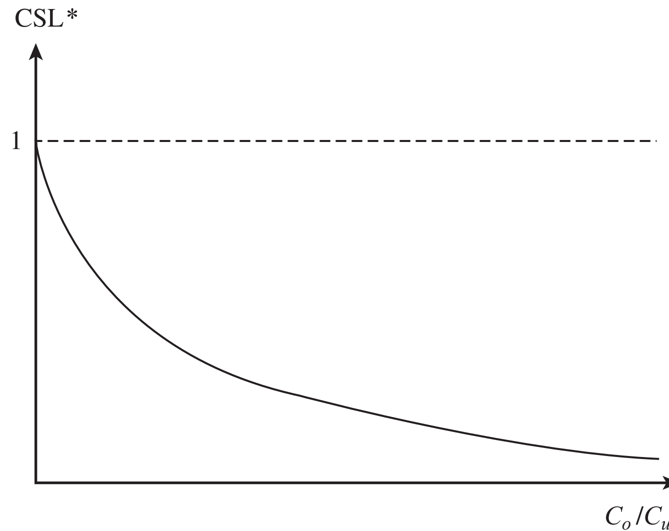


FIGURA 13-2 Efecto del cambio de C_o/C_u sobre el nivel de servicio del ciclo óptimo.

proporcionando un nivel más bajo de disponibilidad del producto (porque hay alternativas disponibles para dar servicio al cliente), disminuyendo así la cantidad de inventario en exceso al final de la temporada.

En la figura 13-2 se muestra el nivel de servicio del ciclo óptimo como una función de la relación del costo por el exceso de inventario sobre el costo por la escasez de inventario. Observe que a medida que esta relación se hace más pequeña, el nivel óptimo de la disponibilidad del producto aumenta. Esto explica la diferencia en el nivel de disponibilidad de productos entre una tienda de alto nivel, como Nordstrom y una tienda de descuento. Nordstrom tiene márgenes más altos y, por lo tanto, un mayor costo de escasez de inventario, por lo que debe proporcionar un mayor nivel de disponibilidad del producto que una tienda de descuento con márgenes más bajos y, en consecuencia, un menor costo de desabasto.

Otro instrumento administrativo importante para mejorar la rentabilidad de la cadena de suministro es la reducción de la incertidumbre de la demanda. Con la incertidumbre de la demanda reducida, un gerente de la cadena de suministro puede mejorar la oferta y la demanda, reduciendo tanto el exceso como la escasez de inventario. Un gerente puede reducir la incertidumbre de la demanda empleando los siguientes medios:

1. ***Mejores pronósticos:*** Utilizar una mejor inteligencia de mercado y una mayor colaboración para reducir la incertidumbre de la demanda.
2. ***Respuesta rápida:*** Reducir el tiempo de espera del reabastecimiento para que puedan colocarse varios pedidos en la temporada de ventas.
3. ***Aplazamiento*:** En un entorno de multiproductos, posponer la diferenciación del producto hasta cerca del punto de venta.
4. ***Abastecimiento adaptado:*** Utilizar un proveedor con tiempo de espera corto, pero quizá caro, como respaldo para un proveedor de costo bajo, pero quizá con un tiempo de espera largo.

A continuación estudiamos el efecto de cada uno de ellos en el desempeño de la cadena.

Mejores pronósticos: efecto sobre las ganancias y los inventarios

Las compañías han tratado de entender de mejor manera a sus clientes y coordinar acciones dentro de la cadena de suministro para mejorar la precisión de los pronósticos. El uso de sistemas de información para planificar la demanda también ha ayudado en este sentido. En este apartado demostramos que una mejor precisión del pronóstico puede ayudar a una empresa a aumentar significativamente su rentabilidad al mismo tiempo que disminuye el inventario en exceso, así como las ventas perdidas a causa de la escasez de inventario. En el ejemplo 13-6 ilustramos el efecto de la mejora de la precisión del pronóstico.

EJEMPLO 13-6 Efecto de la mejora en los pronósticos

Considere un comprador en Bloomingdale's, que es responsable de la compra de vajillas con motivos navideños. Este tipo de vajilla se vende sólo durante la temporada de Navidad y el comprador coloca un pedido que se entrega a principios de noviembre. El precio de cada juego de vajilla $c = \$100$ y se vende a un precio de $p = \$250$. Cualquier juego no vendido en Navidad se somete a importantes descuentos en las ventas después de Navidad y se vende por un valor de salvamento $s = \$80$. El comprador ha estimado que la demanda se distribuye normalmente con una media $\mu = 350$. Históricamente, los errores de pronóstico han tenido una desviación estándar de $\sigma = 150$. El comprador ha decidido llevar a cabo estudios de mercado adicionales para obtener un mejor pronóstico. Evalúe el impacto de una mejora en la precisión del pronóstico sobre la rentabilidad y los inventarios a medida que el comprador reduce σ de 150 a 0 en incrementos de 30.

Análisis:

En este caso tenemos

$$\text{Costo de escasez de inventario} = C_u = p - c = \$250 - \$100 = \$150$$
$$\text{Costo de exceso de inventario} = C_o = c - s = \$100 - \$80 = \$20$$

Utilizando la ecuación 13.1 obtenemos

$$\text{CSL}^* = Prob(Demanda \leq O^*) \geq \frac{150}{150 + 20} = 0.88$$

El tamaño de pedido óptimo se obtiene mediante la ecuación 13.2 y la ganancia esperada con la ecuación 13.3. En la tabla 13-3 se muestran el tamaño de pedido y la ganancia esperada a medida que varía la precisión del pronóstico (medida como la desviación estándar del error de pronóstico).

Punto clave

Un aumento en la precisión del pronóstico disminuye tanto el exceso como la escasez de inventario e incrementa las ganancias de una empresa.

El ejemplo 13-6 muestra que a medida que una empresa mejora la precisión de sus pronósticos, la cantidad esperada del exceso y de la escasez de inventario declina y la ganancia esperada aumenta. Esta relación se muestra en la figura 13-3.

Tabla 13-3 Ganancia esperada y tamaño de pedido en Bloomingdale's

Desviación estándar del error de pronóstico σ	Desviación estándar del error de pronóstico σ	Exceso de inventario esperado	Escasez de inventario esperado	Ganancia esperada
150	526	186.7	8.6	$47,469
120	491	149.3	6.9	$48,476
90	456	112.0	5.2	$49,482
60	420	74.7	3.5	$50,488
30	385	37.3	1.7	$51,494
0	350	0	0	$52,500

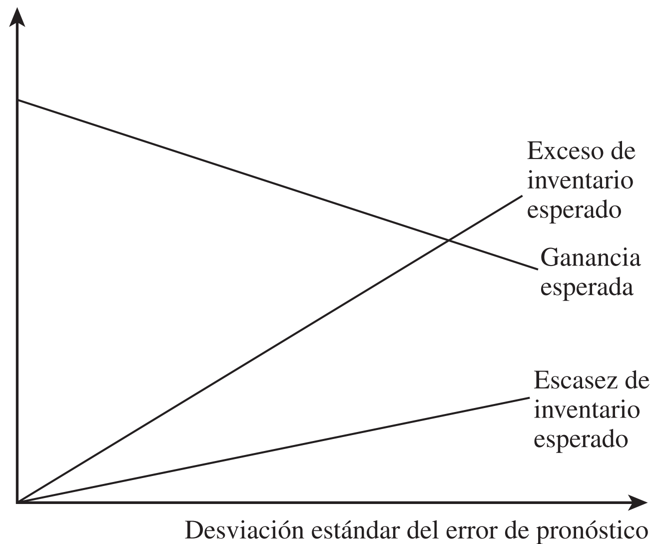


FIGURA 13-3 Variación de la ganancia y de los inventarios con la precisión del pronóstico.

Respuesta rápida: efecto sobre las ganancias y los inventarios

La *respuesta rápida* es el conjunto de acciones que una cadena de suministro toma para reducir el tiempo de reabastecimiento. Los gerentes de la cadena de suministro son capaces de mejorar la precisión de sus pronósticos a medida que disminuyen los tiempos de espera, lo que les permite adecuar mejor la oferta a la demanda y aumentar la rentabilidad de la cadena. Hemos analizado los beneficios de reducir el tiempo de espera para los artículos abastecidos regularmente como el detergente del capítulo 12 (vea el ejemplo 12-6). Ahora enfocamos el análisis en los beneficios por reducir el tiempo de espera de los artículos estacionales.

Para ilustrar la problemática, considere el ejemplo de Saks Fifth Avenue, una tienda departamental de alto nivel, que compra chales de cachemira de la India y Nepal. La temporada de venta de chales de cachemira es de aproximadamente 14 semanas. Históricamente, los tiempos de espera para el reabastecimiento han sido del orden de 25 a 30 semanas. Con un tiempo de espera de 30 semanas, el comprador de Saks debe ordenar todo lo que la tienda espera vender mucho antes del inicio de la temporada de ventas. Para un comprador resulta difícil hacer un pronóstico preciso de la demanda con tanta antelación. Lo anterior se traduce en una alta incertidumbre de la demanda, lo que a su vez hace que el comprador pida chales en exceso o una cantidad insuficiente de éstos cada año.

Por lo general, los compradores son capaces de hacer pronósticos precisos una vez que han observado las ventas de la primera o segunda semana de la temporada. Si los tiempos de entrega pueden acortarse para facilitar el uso de ventas reales al colocar parte del pedido temporal, es posible obtener beneficios significativos para la cadena de suministro. Considere la situación en que los fabricantes pueden reducir el tiempo de reabastecimiento a seis semanas. Esta reducción permite que el comprador de Saks divida la compra de toda la temporada en dos pedidos. El primer pedido se coloca seis semanas antes del comienzo de la temporada de ventas. El comprador ordena lo que la tienda espera vender durante las primeras siete semanas de la temporada. El primer pedido debe hacerse sin observar ninguna venta. Una vez que comience la temporada, el comprador observa las ventas de la primera semana y hace un segundo pedido después de terminada ésta. Al colocar el segundo pedido, el comprador puede usar la información de ventas de la primera semana de la temporada. La mejora en la precisión de los pronósticos del comprador de Saks le permite utilizar el segundo pedido para ajustar de mejor manera la oferta y la demanda, lo que resulta en mayores ganancias.

Cuando se hacen varios pedidos en la temporada, no es posible proporcionar fórmulas como las ecuaciones 13.1 a 13.5 que especifiquen la cantidad óptima de pedido, la ganancia esperada, el exceso de inventario esperado y la escasez de inventario esperada. En su lugar debemos utilizar la simulación (vea el apéndice 13F) o las aproximaciones para identificar el efecto de las diferentes políticas de pedido. A continuación ilustramos el uso de las aproximaciones para evaluar el impacto de múltiples pedidos realizados en una temporada, para el ejemplo de Saks analizado anteriormente.

El comprador de Saks debe decidir la cantidad de chales de cachemira que va a pedir a la India y Nepal para la próxima temporada de invierno. El costo unitario de cada chal es de $40 y el chal se vende por $150. Una tienda de descuento adquiere cualquier chal sobrante al final de la temporada por $30. Después de la temporada de ventas de 14 semanas, los chales sobrantes se venden a la tienda de descuento.

Antes de que inicie la temporada de venta, el comprador pronostica una demanda semanal que se distribuye normalmente, con una media de $D = 20$ y una desviación estándar de $\sigma_D = 15$. Comparamos el efecto de las dos políticas de pedido siguientes:

1. El tiempo de espera del suministro es de más de 15 semanas. Como resultado, debe colocarse una sola orden al principio de la temporada para cubrir la demanda de toda ésta.
2. El tiempo de espera del suministro se reduce a seis semanas. Como resultado, se colocan dos órdenes en la temporada, una que se entrega al comienzo de la temporada y otra al final de la semana 1 y que se entrega a principios de la semana 8.

Para la política 2 suponemos que una vez que el comprador ve las ventas de la primera semana, es capaz de pronosticar con precisión la demanda para el primer periodo de siete semanas (esta aproximación permite cuantificar los beneficios del segundo pedido). El comprador todavía no es capaz de predecir las ventas para el segundo periodo de siete semanas. En términos de su capacidad de pronóstico para el segundo periodo de siete semanas, consideramos dos escenarios: uno en el que la precisión del pronóstico del comprador no mejora para el segundo pedido (es decir, la desviación estándar de la demanda prevista se mantiene en 15), y otro en el que sí mejora y el comprador es capaz de reducir la desviación estándar del pronóstico a 3 en lugar de 15. También suponemos que la demanda es independiente entre semana.

Empezamos con el caso en que los compradores colocan un solo pedido para la temporada. Como la temporada dura 14 semanas y la demanda es independiente entre éstas, obtenemos lo siguiente (utilizando la ecuación 12.1):

$$\text{Demanda esperada de chales en la temporada} = \mu = 14D = 14 \times 20 = 280$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda estacional, } \sigma = \sqrt{14}\sigma_D = \sqrt{14} \times 15 = 56.1$$

Con base en la ecuación 13.1, el nivel de servicio del ciclo óptimo está dado por

$$\text{CSL}^* = \frac{p - c}{p - s} = \frac{150 - 40}{150 - 30} = 0.92$$

La cantidad de pedido óptima para un solo pedido se obtiene mediante la ecuación 13.2:

$$O^* = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.92, 280, 56.1) = 358$$

Para un pedido de 358 chales obtenemos

$$\text{Ganancia esperada con un solo pedido (utilizando la ecuación 13.3)} = \$29{,}767$$

$$\text{Exceso de inventario esperado (utilizando la ecuación 13.4)} = 79.8$$

$$\text{Escasez de inventario esperada (utilizando la Ecuación 13.5)} = 2.14$$

Como el costo por exceso de inventario es de $10 por chal y el costo por escasez de inventario es de $110 por chal, obtenemos

$$\text{Costo esperado por exceso de inventario} = 79.8 \times \$10 = \$798$$

$$\text{Costo esperado por escasez de inventario} = 2.14 \times \$110 = \$235$$

Si no hubiera incertidumbre en la demanda, durante la temporada se tendría una demanda de 280 chales con una ganancia de $280 \times \$110 = \$30{,}800$. Observe que la ganancia esperada se reduce en $\$30{,}800 - \$29{,}767 = \$1{,}033 = \$798 + \$235$ debido a la incertidumbre. Por lo tanto, la incertidumbre reduce el beneficio esperado debido al exceso y la escasez de inventario.

Del análisis anterior se deduce también que la reducción de la incertidumbre como resultado del acortamiento de los tiempos de espera aumentará las ganancias en más de $1,033 durante la temporada.

Ahora describimos un procedimiento que puede utilizarse para estimar el beneficio de colocar dos pedidos en una temporada. Se supone que el primer pedido tiene como objetivo cubrir la demanda de las primeras siete semanas y el segundo pedido de las últimas siete semanas. Como el comprador verá la primera semana de demanda antes de realizar el segundo pedido, hemos supuesto que será capaz de pronosticar en forma precisa las ventas en el primer periodo de siete semanas. Por lo tanto, el segundo pedido puede tomar en cuenta cualquier inventario sobrante de la primera orden.

Considere primero que no se produce ninguna mejoría en la precisión del pronóstico después de observar la demanda del primer periodo (la desviación estándar de la demanda semanal sigue siendo 15). Para cada periodo de siete semanas obtenemos lo siguiente:

$$\text{Demanda esperada de chales en siete semanas} = \mu_7 = 7 \times 20 = 140$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda durante siete semanas} = \sigma_7 = \sqrt{7} \times 15 = 39.7$$

El nivel de servicio del ciclo óptimo se mantiene en 0.92. Utilizando la ecuación 13.2 obtenemos el tamaño del primer pedido como

$$O_1 = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu_7, \sigma_7) = NORMINV(0.92, 140, 39.7) = 195$$

Para una orden de 195 chales obtenemos

$$\text{Ganancia esperada en siete semanas (utilizando la ecuación 13.3)} = \$14{,}670$$

$$\text{Exceso de inventario esperado (utilizando la ecuación 13.4)} = 56.4$$

$$\text{Escasez de inventario esperada (utilizando la ecuación 13.5)} = 1.51$$

Recuerde que el comprador puede predecir con exactitud las ventas durante el primer periodo de siete semanas cuando realiza el segundo pedido al final de la semana 1. Por lo tanto, cualquier exceso de inventario resultante del primer pedido se utiliza para ajustar el tamaño del segundo pedido. Como el inventario de inicio deseado para el segundo periodo de siete semanas es de 195 chales y el exceso de inventario esperado al final del primer periodo de siete semanas es de 56.4 chales, el segundo pedido será sólo de 195 – 56.4 = 138.6 chales en promedio. Dado que todo el exceso de inventario del primer periodo de siete semanas se utiliza para reducir el tamaño del pedido para el segundo periodo de siete semanas, no hay ningún costo por exceso de inventario del primer pedido, y al final de la temporada se espera un exceso de inventario de 56.4 chales (éste es el exceso de inventario esperado al iniciar el periodo de siete semanas con 195 chales).

Si suponemos que todas las insuficiencias del primer pedido se pierden como ventas, la ganancia esperada al final de la temporada está dada por la suma de la ganancia esperada para cada periodo de siete semanas y el costo del exceso de inventario recuperado del primer periodo de siete semanas, de la manera siguiente:

$$\text{Ganancia esperada en la temporada} = \$14{,}670 + 56.4 \times \$\,10 + \$14{,}670 = \$29{,}904$$

Sumamos $56.4 \times \$10$ a la ganancia esperada de la primera mitad de siete semanas porque efectivamente no hay ningún exceso de inventario que deba venderse a la tienda de descuento al final de las primeras siete semanas. Nuestro análisis indica que al tener un segundo pedido en la temporada, las ganancias aumentan en $\$29{,}904 - \$29{,}767 = \$137$, incluso si no hay una mejora en la precisión del pronóstico para el segundo periodo de siete semanas. El aumento del beneficio será mayor si suponemos que los clientes que no encuentran el producto al final de las primeras siete semanas están dispuestos a esperar la llegada del segundo pedido. La ganancia se incrementará al ahorrar el costo de escasez de inventario en $1.51 \times \$110 = \$166.10$. Observe que, como resultado de permitir un segundo pedido, la cantidad total ordenada se ha reducido de 358 chales a $195 + 138.6 = 333.6$ chales. El exceso de inventario esperado al término de la temporada ha disminuido de 79.8 a 56.4 chales.

A partir de nuestro análisis anterior observamos tres consecuencias importantes de poder colocar un segundo pedido de reabastecimiento en la temporada después de observar algunas ventas:

1. La cantidad total esperada que se ordena durante la temporada con dos pedidos es menor que con un solo pedido para el mismo nivel de servicio del ciclo. En otras palabras, es posible proporcionar el mismo nivel de disponibilidad del producto para el cliente, si se hace un segundo pedido de seguimiento después de observar algunas ventas.
2. El exceso de inventario promedio que debe eliminarse al final de la temporada de ventas es menor si se permite un segundo pedido de seguimiento después de observar algunas ventas.
3. Las ganancias son mayores cuando se permite un segundo pedido de seguimiento durante la temporada de ventas.

En otras palabras, cuando la cantidad total para la temporada se divide en varios pedidos más pequeños, donde el tamaño de cada pedido se basa en algunas ventas observadas, el comprador está en mejores condiciones para adecuar la oferta y la demanda y aumentar la rentabilidad de Saks. Estas relaciones se muestran en las figuras 13-4 y 13-5.

Ahora consideramos el caso en que el comprador mejora la precisión de su pronóstico para el segundo pedido después de observar una parte de la demanda de la temporada. Como resultado, la desviación estándar del pronóstico de la demanda semanal cae de 15 a 3 para el segundo periodo de siete semanas. En este contexto, el primer periodo se mantiene en 195 chales como se explicó anteriormente. Para el segundo

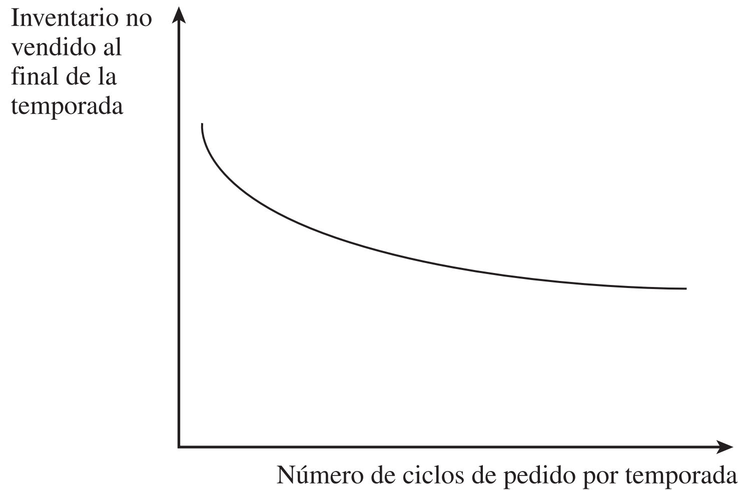


FIGURA 13-4 Inventario sobrante en función del número de ciclos de pedido por temporada.

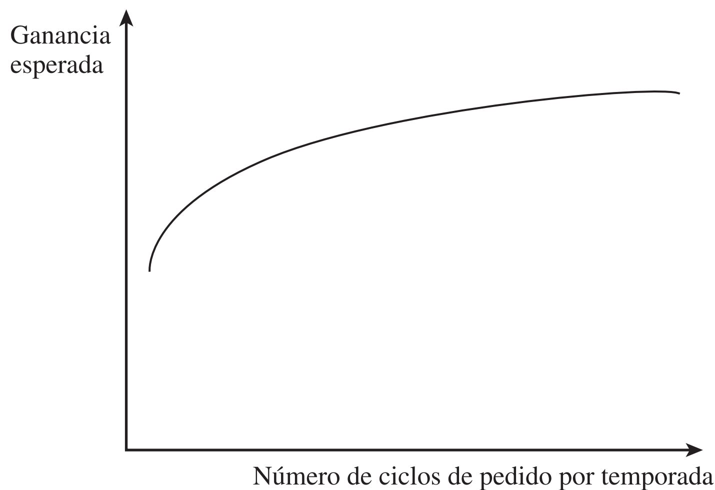


FIGURA 13-5 Ganancia esperada en función del número de ciclos de pedido por temporada.

pedido, sin embargo, debemos tener en cuenta el hecho de que la desviación estándar de la demanda semanal ha caído a 3. Como resultado, obtenemos

$$\text{Demanda esperada de chales en siete semanas} = \mu_7 = 7 \times 20 = 140$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda durante las primeras siete semanas} = \sigma_7 = \sqrt{7} \times 15 = 39.7$$

$$\text{Desviación estándar de la demanda en las segundas siete semanas} = \sigma_7^2 = \sqrt{7} \times 3 = 7.9$$

El nivel de servicio del ciclo óptimo se mantiene en 0.92. Utilizando la ecuación 13.2, obtenemos que el número deseado de chales al comienzo de las primeras siete semanas es $O_1 = 195$ igual que antes y que al comienzo de las segundas siete semanas es O_2 donde:

$$O_2 = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu_7, \sigma_7^2) = NORMINV(0.92, 140, 7.9) = 151$$

Como en el análisis anterior, suponemos que el comprador es capaz de predecir con exactitud las ventas para el primer periodo de siete semanas después de observar las ventas de la primera semana. Por lo tanto toma en cuenta el exceso de inventario al final del primer periodo de siete semanas al realizar su segundo pedido. Dado un exceso de inventario de 56.4 chales en el primer pedido, el segundo pedido neto es de 151 − 56.4 = 94.6 chales. Con 151 chales al inicio de las segundas siete semanas, obtenemos

Ganancia esperada del segundo pedido (usando la ecuación 13.3) = \$15,254

Exceso de inventario esperado (usando la ecuación 13.4) = 11.3

Escasez de inventario esperada (usando la ecuación 13.5) = 0.30

Una vez más observe que no hay ningún costo por exceso de inventario al final de las primeras siete semanas. Por lo tanto, las ganancias netas de la temporada son \$14,670 (primeras siete semanas) + 56.4 × \$10 (sin exceso de inventario al final de las primeras siete semanas) + \$15,254 (segundas siete semanas) = \$30,488. Si la precisión del pronóstico mejora como resultado de la observación de la demanda estacional inicial, la ganancia de la temporada se incrementa en \$30,488 − \$29,767 = \$721. El exceso de inventario esperado al término de la temporada desciende a 11.3 unidades. Si los clientes que no encuentran el producto al final de las primeras siete semanas están dispuestos a esperar la llegada del segundo pedido, la ganancia se incrementa en \$166.10 adicionales, como explicamos anteriormente. Así, un segundo pedido y la mejora en la precisión del pronóstico como resultado de observar las ventas iniciales de la temporada, aumentan las ganancias y disminuyen el exceso de inventario.

Punto clave

Si la respuesta rápida permite realizar varios pedidos de reabastecimiento en la temporada, las ganancias aumentan y los tamaños del exceso y de la escasez de inventario disminuyen. Los reabastecimientos múltiples permiten a la cadena de suministro ajustar de mejor manera la oferta y la demanda al ser capaz de responder a las tendencias en vez de pronosticarlas.

Zara, el minorista de ropa española, construye toda su estrategia en torno a una respuesta rápida. En momentos en que la mayoría de sus competidores estaban reduciendo los costos de producción a través de la subcontratación en países de costos bajos, Zara se centró en reducir el tiempo de respuesta mediante la creación de centros de producción en España. Mientras los competidores tenían tiempos de espera que iban de tres a nueve meses, Zara fue capaz de reducir su diseño hasta tener tiempos de entrega en los estantes de tres a cuatro semanas. Con temporadas de ventas divididas en tres meses (para otoño, invierno, primavera y verano), los competidores se veían obligados a tomar decisiones de abastecimiento mucho antes del inicio de la temporada. Por el contrario, Zara dividió la temporada de tres meses de ventas en tres periodos de 1 mes. Durante el primer mes, Zara decidía las cantidades a vender sin conocerlas en realidad. Estas cantidades, sin embargo, eran muy inferiores a lo que la competencia estaba obligada a ordenar para toda la temporada de tres meses. Para el segundo mes, Zara tomaba sus decisiones de producción después de observar la primera

semana de demanda (Zara también observa la demanda de su competencia). Para el tercer mes, Zara tomaba sus decisiones de producción después de observar todo el primer mes de ventas. En cada caso, la observación de las ventas le permitió mejorar significativamente la exactitud del pronóstico. Como resultado, Zara ha podido ofrecer más de lo que se vende sin perder una preciosa capacidad de producción en lo que no es probable que se venda. La respuesta rápida le ha permitido responder a las tendencias en lugar de tener que pronosticarlas. Esto se tradujo en mayores ganancias para Zara, ya que produce lo que se vende y tiene menos producto en inventario. El *New York Times* informó en 2006 que "Zara factura 85% del precio completo de su mercancía, mientras que el promedio de la industria es de 60%".

A partir de este análisis, la respuesta rápida es claramente ventajosa para un minorista en una cadena de suministro, con una advertencia. A medida que el fabricante reduce los tiempos de espera del reabastecimiento, lo que permite un segundo pedido, se ha visto que el tamaño de pedido del minorista se reduce. En efecto, el fabricante vende menos al minorista. Por lo tanto, la respuesta rápida resulta en que el fabricante obtiene una menor ganancia en el corto plazo si todo lo demás permanece invariable. Éste es un punto importante a considerar, puesto que la disminución de los tiempos de espera del reabastecimiento requiere un gran esfuerzo por parte del fabricante; sin embargo, parece beneficiar al minorista a expensas del fabricante. Las ganancias resultantes de la respuesta rápida deben ser compartidas adecuadamente a través de la cadena de suministro. Esto era más fácil para Zara, que estaba integrada verticalmente en la fabricación y comercialización de respuesta. Sin embargo, esto puede ser un reto para los minoristas que subcontratan la fabricación.

Aplazamiento: efecto sobre las ganancias y los inventarios

Como estudiamos en el capítulo 12, el aplazamiento se refiere al retraso en la diferenciación del producto hasta que su venta se encuentre próxima. Con el aplazamiento, todas las actividades previas a la diferenciación del producto requieren pronósticos agregados que son más precisos que los de cada producto. Los pronósticos de los productos individuales son necesarios cerca del momento de la venta, cuando la demanda se conoce con mayor precisión. Como resultado, el aplazamiento permite que una cadena de suministro ajuste de mejor manera la oferta y la demanda. El aplazamiento puede ser un instrumento administrativo de gran alcance para aumentar la rentabilidad. Puede ser especialmente valioso para las ventas en línea por el desfase entre el momento en que un cliente coloca un pedido y el instante cuando espera la entrega. Si la cadena de suministro puede posponer la diferenciación del producto hasta después de recibir el pedido de un cliente, es posible lograr un aumento significativo en las ganancias y una gran reducción de los inventarios.

El principal beneficio del aplazamiento surge por el mejor ajuste de la oferta y la demanda. Sin embargo, hay un costo asociado con el aplazamiento porque el costo de producción suele ser más alto cuando se aplica el aplazamiento que cuando no se usa. Por ejemplo, el proceso de producción en Benetton, donde se tiñen las prendas tejidas ya ensambladas, cuesta casi 10% más que si se teje con hilo previamente teñido. De manera similar, cuando los minoristas mezclan la pintura en las tiendas en vez de en la fábrica, los costos de fabricación aumentan debido a que hay una pérdida de economías de escala en la mezcla. Como el costo de producción se incrementa con el aplazamiento, una empresa debe asegurar que los beneficios del aplazamiento del inventario sean mayores que los costos adicionales.

El aplazamiento es valioso para una empresa que vende una gran variedad de productos con una demanda que es impredecible, independiente y comparable en tamaño. Lo anterior se ilustra con el ejemplo de Benetton que vende prendas tejidas en colores sólidos. A partir del hilo se requieren dos pasos para completar la prenda: teñido y tejido. Tradicionalmente se teñía el hilo y después se tejía la prenda (opción 1). Benetton desarrolló un procedimiento para que el teñido se aplazara hasta después de que la prenda estuviera tejida (opción 2).

Benetton vende cada prenda tejida a un precio al menudeo $p = \$50$. La opción 1 (sin aplazamiento) implica un costo de fabricación de $20, mientras que la opción 2 (con aplazamiento) resulta en un costo de fabricación de $22 por prenda. Benetton, al final de la temporada, pone a la venta las prendas no vendidas con un precio de $s = \$10$ cada una. El proceso de fabricación o tejido toma un total de 20 semanas. Para facilitar el análisis, suponemos que Benetton vende sus prendas en cuatro colores. Con veinte semanas de antelación, Benetton pronostica la demanda de cada color para que se distribuya normalmente, con una media de $\mu = 1{,}000$ y una desviación estándar de $\sigma = 500$. La demanda de cada color es independiente. Con la opción 1 Benetton toma la decisión de compra por cada color, 20 semanas antes del periodo de venta y cuenta con inventarios separados por cada color. Con la opción 2, Benetton pronostica sólo el hilo agregado

sin color que debe comprar con 20 semanas de antelación. El inventario existente se basa en la demanda agregada para los cuatro colores. Benetton decide la cantidad de colores individuales después de conocer la demanda. Ahora cuantificamos el efecto del aplazamiento para Benetton.

Con la opción 1, Benetton tiene que decidir sobre la cantidad de hilo de cada color que debe comprar. Para cada color tenemos

Precio al por menor, $p = \$50$

Costo de fabricación, $c = \$20$

Valor de salvamento, $s = \$10$

Con la ecuación 13.1 obtenemos el nivel de servicio del ciclo óptimo para cada color como

$$\text{CSL}^* = \frac{p - c}{p - s} = \frac{30}{40} = 0.75$$

Con la ecuación 13.2, la cantidad de compra óptima para el hilo de cada color es

$$O^* = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.75, 1000, 500) = 1{,}337$$

Por lo tanto, para Benetton resulta óptimo producir 1,337 unidades de cada color. A partir de la ecuación 13.3, la utilidad esperada de cada color es

$$\text{Beneficios esperados} = \$23{,}664$$

Usando las ecuaciones 13.4 y 13.5, el exceso y la escasez de inventario esperados para cada color son

$$\text{Exceso de inventario esperado} = 412$$

$$\text{Escasez de inventario esperada} = 75$$

Así, con la opción 1, considerando los cuatro colores, Benetton produce $4 \times 1{,}337 = 5{,}348$ suéteres. Esto se traduce en una ganancia esperada de $4 \times 23{,}644 = \$94{,}576$, con un promedio de $4 \times 412 = 1{,}648$ suéteres vendidos en liquidación al final de la temporada y $4 \times 75 = 300$ clientes rechazados por falta de suéteres.

En la Opción 2 Benetton tiene que decidir sólo el total de suéteres de los cuatro colores que deben producirse, puesto que éstos pueden teñirse con el color adecuado una vez que se conozca la demanda. En este caso se tiene

Precio al menudeo, $p = \$50$

Costo de fabricación, $c = \$22$

Valor de salvamento, $s = \$10$

A partir de la ecuación 13.1, el nivel de servicio del ciclo óptimo por cada color es

$$\text{CSL}^* = \frac{p - c}{p - s} = \frac{28}{40} = 0.70$$

Dado que la demanda es independiente para cada color, la demanda total de los cuatro colores puede evaluarse utilizando la ecuación 12.13 para que se distribuya normalmente, con una media de μ_A y una desviación estándar de σ_A, donde

$$\mu_A = 4 \times 1{,}000 = 4{,}000 \quad \sigma_A = \sqrt{4} \times 500 = 1{,}000$$

Con la ecuación 13.2, la cantidad de producción agregada óptima para Benetton está dada por O^*_A, donde

$$O_A^* = NORMINV(0.7, \mu_A, \sigma_A) = NORMINV(0.7, 4000, 1000) = 4{,}524$$

En la opción 2, para Benetton resulta óptimo producir 4,524 suéteres sin teñir, los que se teñirán cuando la demanda por color esté disponible. La ganancia esperada con aplazamiento se evalúa utilizando la ecuación 13.3 como

$$\text{Ganancias esperadas} = \$98{,}092$$

Con base en la ecuación 13.4, el exceso de inventario esperado es de 715 y la escasez de inventario esperada es de 190. Por lo tanto, el aplazamiento aumenta las ganancias esperadas por Benetton de $94,576 a $98,092. El exceso de inventario esperado desciende de 1,648 a 715, y la escasez de inventario esperada disminuye de 300 a 190. En este caso es evidente que el uso del aplazamiento y la producción mediante la opción 2 es una buena opción para Benetton.

Los beneficios del aplazamiento disminuyen significativamente si la demanda para los diferentes colores se correlaciona positivamente. En el ejemplo de Benetton encontramos que el aplazamiento no es valioso si el coeficiente de correlación entre los colores es de 0.2 o superior.

Los beneficios del aplazamiento también disminuyen significativamente si la demanda es más predecible. Si la desviación estándar de la demanda para cada color se reduce a 300 o menos, el análisis muestra que la opción 2, con aplazamiento, da menos ganancias que la opción 1 sin aplazamiento.

Punto clave

El aplazamiento le permite a una compañía aumentar los beneficios y ajustar de mejor manera la oferta y la demanda si la empresa produce una gran variedad de productos, la demanda de éstos es impredecible, la demanda no se correlaciona de manera positiva y tiene aproximadamente el mismo tamaño.

El aplazamiento no es muy eficaz si una gran fracción de la demanda proviene de un solo producto. El beneficio de la agregación es pequeño en este caso, mientras que el costo de producción incrementado se aplica a todos los artículos producidos. Ilustramos esta idea una vez más, con Benetton como ejemplo.

Suponga que la demanda de suéteres rojos en Benetton se pronostica paa que se distribuya normalmente, con una media de $\mu_{\text{rojo}} = 3{,}100$ y una desviación estándar de $\sigma_{\text{rojo}} = 800$. También se pronostica que la demanda de los otros tres colores tenga una distribución normal, con una media de $\mu = 300$ y una desviación estándar de $\sigma = 200$. Observe que los suéteres rojos constituyen casi 80% de la demanda.

En la Opción 1 el nivel de servicio del ciclo óptimo *CSL** es de 0.75, según la evaluación anterior. Con base en la ecuación 13.2, la producción óptima de suéteres rojos es dada por

$$O^*_{\text{rojo}} = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu_{rojo}, \sigma_{rojo}) = NORMINV(0.75, 3100, 800) = 3{,}640$$

Con la ecuación 13.3, la utilidad esperada de los suéteres rojos es de $82,831. Aplicando la ecuación 13.4, el exceso de inventario esperado de los suéteres rojos es 659; utilizando la ecuación 13.5, la escasez de inventario esperada de los suéteres rojos es de 119. Para cada uno de los otros tres colores, podemos evaluar de forma similar la producción óptima como O^*, donde

$$O^* = NORMINV(\text{CSL}^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.75, 300, 200) = 435$$

Esto produce una ganancia esperada de $6,458, un exceso de inventario esperado de 165 y una escasez de inventario esperada de 30 para cada uno de los otros tres colores. Considerando los cuatro colores, la opción 1 tiene como resultado lo siguiente:

Producción total = 3640 + 3 × 435 = 4,945

Beneficio esperado = $82,831 + 3 × $6,458 = $102,205

Exceso de inventario esperado = 659 + 3 × 165 = 1,154

Escasez de inventario esperada = 119 + 3 × 30 = 209

Con la opción 2 Benetton debe decidir sólo la producción total en los cuatro colores. Dado que la demanda de cada color es independiente, la demanda total de los cuatro colores puede evaluarse utilizando la ecuación 12.13 para que se distribuya normalmente, con una media de μ_A y una desviación estándar de σ_A, donde

$$\mu_A = 3{,}100 + 3 \times 300 = 4{,}000; \sigma_A = \sqrt{800^2 + 3 \times 200^2} = 872$$

En la opción 2 repetimos todos los cálculos para obtener lo siguiente:

Producción total = 4,457

Beneficio esperado = $99,872

Exceso de inventario esperado = 623

Escasez de inventario esperada = 166

En este caso Benetton ve disminuir sus ganancias a pesar de que tanto el exceso como la escasez de inventario han disminuido como resultado del aplazamiento. Esto se debe a que una gran fracción de la demanda es de suéteres rojos, la cual ya puede predecirse con una precisión razonablemente buena. Por lo tanto, el aplazamiento y la agregación resultantes no ayudan a mejorar la precisión de los pronósticos de los suéteres rojos. Sin embargo, sí mejoran la precisión del pronóstico para los otros tres colores, pero representan una pequeña fracción de la demanda. Al mismo tiempo, los costos de producción aumentan para todos los suéteres (incluyendo los rojos). Como resultado, los costos de producción incrementados superan a los beneficios del aplazamiento en todos los colores.

Punto clave

El aplazamiento puede reducir las ganancias globales para una empresa si un producto solo contribuye a la mayoría de la demanda porque el gasto de fabricación incrementado por el aplazamiento supera al pequeño beneficio que proporciona la agregación en este caso.

A continuación analizamos cómo el aplazamiento adaptado puede ser una estrategia eficaz cuando el aplazamiento completo no es apropiado.

Aplazamiento adaptado: efecto sobre las ganancias y los inventarios

En el *aplazamiento adaptado*, una empresa utiliza la producción con aplazamiento para satisfacer una parte de su demanda, mientras que el resto se satisface sin aplazamiento. El aplazamiento adaptado produce mayores beneficios que cuando no se utiliza o cuando todos los productos se fabrican con aplazamiento. Bajo el aplazamiento adaptado, una empresa produce la cantidad que es probable vender siguiendo el método de producción sin aplazamiento, el cual tiene un menor costo. La compañía produce la parte de la demanda que es incierta utilizando el aplazamiento. En la parte de la demanda que tiene certidumbre, el aplazamiento ofrece poco valor en términos del aumento de la precisión de los pronósticos. Así, la empresa produce esta porción mediante el método de más bajo costo para reducir los costos de fabricación. En la parte de la demanda que es incierta, el aplazamiento mejora significativamente la precisión de los pronósticos. En este caso, la compañía está dispuesta a incurrir en un costo de producción mayor para lograr el beneficio que se obtiene al mejorar el ajuste entre la oferta y la demanda. A continuación ilustramos la idea del aplazamiento adaptado retomando el ejemplo de Benetton.

Una forma de implementar el aplazamiento adaptado consiste en producir los artículos con demanda alta y predecible sin usar el aplazamiento, y producir con aplazamiento únicamente los artículos impredecibles. Volvemos a los datos de Benetton donde los suéteres rojos constituyen casi 80% de la demanda. Recuerde que la demanda de suéteres rojos en Benetton se pronostica con una distribución normal, una media de $\mu_{\text{rojo}} = 3{,}100$ y una desviación estándar de $\sigma_{\text{rojo}} = 800$. La demanda de los otros tres colores se pronostica con una distribución normal, una media de $\mu = 300$ y una desviación estándar de $\sigma = 200$. Evaluamos que el aplazamiento de todos los colores disminuye las ganancias de Benetton en más de $2,000 (de $102.205

a $99,872). Sin embargo, si se aplica el aplazamiento adaptado de modo que los suéteres rojos se fabriquen usando el método tradicional, y solamente los otros colores se aplazan, las ganancias aumentan en realidad de $1,009 a $103,213.

En un método más sofisticado del aplazamiento se separa toda la demanda en la carga básica y la variación. La carga básica se fabrica con el método de bajo costo, sin aplazamiento, y sólo la variación se hace usando el aplazamiento. Esta forma más sofisticada de abastecimiento adaptado es más difícil de implementar, pero puede ser valiosa incluso cuando todos los productos que se están aplazando tienen una demanda similar, como lo ilustramos a continuación. Considere el escenario en el cual Benetton vende cuatro colores y la demanda pronosticada para cada color tiene una distribución normal, con una media de $\mu = 1{,}000$ y una desviación estándar de $\sigma = 500$. Anteriormente observamos que en este caso el uso del aplazamiento completo (todos los suéteres se aplazan), aumenta las ganancias en Benetton de $94,576 a $98,092.

Consideramos ahora una situación en la cual Benetton aplica el aplazamiento adaptado y usa tanto la opción 1 (teñir el hilo y después tejer la prenda) como la opción 2 (teñir la prenda tejida) en su producción. Para cada color, Benetton identifica una cantidad Q_1 (la carga básica) que se fabrica utilizando la opción 1 y una cantidad agregada Q_A que se fabrica utilizando la opción 2, donde los colores para la cantidad agregada se asignan cuando se conoce la demanda. A continuación identificamos la política adecuada de aplazamiento adaptado y su impacto sobre las ganancias y los inventarios. No existe una fórmula que pueda utilizarse para evaluar la política óptima y las ganancias en este caso. Por lo tanto, recurrimos a simulaciones para estudiar el efecto de las diferentes políticas. Los resultados de varias simulaciones se muestran en la tabla 13-4. A partir de esta observamos que Benetton puede incrementar su utilidad esperada a $104,603 usando una política de aplazamiento adaptado en la que se producen 800 unidades de cada color mediante la opción 1, y 1,550 unidades con la opción 2. La ganancia resultante es mayor que si todas las unidades se fabrican siguiendo la opción 1 (sin aplazamiento) o la opción 2 (aplazamiento completo). Es muy probable que la demanda de cada color sea de 800 o más. La política de aplazamiento adaptado aprovecha este punto y produce estas unidades aplicando la opción 1, que tiene un bajo costo. Las unidades restantes se fabrican siguiendo la opción 2, de modo que la incertidumbre de la demanda pueda reducirse mediante la agregación.

Punto clave

El aplazamiento adaptado permite que una empresa aumente su rentabilidad usando el aplazamiento sólo para la parte incierta de la demanda y produciendo la parte predecible a un costo más bajo sin aplazamiento. El aplazamiento adaptado es más rentable que aplazar por completo o que no usar ningún aplazamiento, pero puede ser difícil de aplicar.

Tabla 13-4 Promedio de 500 simulaciones para las políticas de aplazamiento adaptado

Política de fabricación				
Q_1	Q_A	Ganancia promedio	Exceso de inventario promedio	Escasez de inventario promedio
0	4,524	$97,847	510	210
1,337	0	$94,377	1,369	282
700	1,850	$102,730	308	168
800	1,550	$104,603	427	170
900	950	$101,326	607	266
900	1,050	$101,647	664	230
1,000	850	$100,312	815	195
1,000	950	$100,951	803	149
1,100	550	$99,180	1,026	211
1,100	650	$100,510	1,008	185

Abastecimiento adaptado: efecto sobre las ganancias y los inventarios

En el *abastecimiento adaptado*, las empresas utilizan una combinación de dos fuentes de abastecimiento, una centrada en el precio, pero incapaz de manejar la incertidumbre, y otra centrada en la flexibilidad para manejar la incertidumbre, pero a un costo mayor. Para que el abastecimiento adaptado sea eficaz, no basta utilizar fuentes de suministro de modo que una sirva como respaldo de la otra. Las dos fuentes deben centrarse en diferentes capacidades. La fuente de bajo costo debe centrarse en ser eficiente y debe estar obligada a suministrar sólo la parte predecible de la demanda. La fuente flexible debe centrarse en ser eficaz y estar obligada a suministrar la parte incierta de la demanda. Como resultado de ello, el abastecimiento adaptado permite a una empresa aumentar sus ganancias y ajustar de mejor manera la oferta y la demanda. El valor del abastecimiento adaptado depende de la reducción de costos que pueda lograrse como resultado de una fuente que no enfrenta variabilidad. Si este beneficio es pequeño, el abastecimiento adaptado puede no ser el ideal debido a la mayor complejidad de su implementación. El abastecimiento adaptado puede basarse en el volumen o en el producto, dependiendo de la fuente de incertidumbre.

En el *abastecimiento adaptado con base en el volumen*, la parte predecible de la demanda de un producto se produce en una instalación eficiente, en tanto que la porción incierta se produce en una instalación flexible. Benetton proporciona un ejemplo de abastecimiento adaptado con base en el volumen, ya que pide a los minoristas que comprometan alrededor de 65% de sus pedidos unos siete meses antes del inicio de la temporada de ventas. Benetton subcontrata la producción de esta parte sin incertidumbre a fuentes de costo bajo que tienen tiempos de entrega de varios meses. Para el otro 35%, Benetton deja que los minoristas coloquen sus pedidos mucho más cerca, o incluso después del inicio, de la temporada de ventas. Toda la incertidumbre se concentra en esta parte de los pedidos. Benetton produce esta porción de pedidos en su propia planta que es muy flexible. La producción en la planta de Benetton es más cara que la producción en las plantas subcontratadas. Sin embargo, la planta puede producir con un tiempo de espera de semanas, mientras que los subcontratistas tienen un tiempo de espera de varios meses. Una combinación de las dos fuentes permite que Benetton reduzca sus inventarios, al mismo tiempo que incurre en un alto costo de producción, sólo por una fracción de su demanda. Esto le permite aumentar las ganancias.

El abastecimiento adaptado con base en el volumen debe ser una opción para las empresas que han trasladado gran parte de su producción al extranjero a fin de aprovechar los costos reducidos. Los costos menores también se han visto acompañados de largos tiempos de espera. En tal situación, una fuente local flexible con tiempos de espera reducidos puede ser un complemento eficaz del proveedor extranjero con tiempos de espera largos, incluso si la fuente local es más cara. Los tiempos de espera largos requieren grandes inventarios de seguridad y el desajuste resultante de la oferta y la demanda afecta a las ganancias. La presencia de la fuente local permite que la empresa reduzca los inventarios de seguridad y abastezca cualquier exceso de demanda usando la fuente local. La combinación más eficaz consiste en que la fuente del extranjero se centre en reabastecer los inventarios del ciclo, haciendo caso omiso de la incertidumbre. La fuente local se utiliza como un respaldo para cualquier demanda que en algún momento exceda el inventario disponible.

Allon y Van Mieghem (2010) describen a un fabricante de componentes para transmisión inalámbrica de alta tecnología, con instalaciones en China y en México. La planta en China era más barata pero tenía tiempos de entrega que eran cinco y diez veces más largos que los de México. Un estudio de simulación indicó que el uso del abastecimiento adaptado era la estrategia más eficaz en este caso. Allon y Van Mieghem (2010) recomiendan una política de inventario *adaptada con base en los picos* (TBS) mediante la cual se obtiene una carga básica constante de la fuente más barata (China en este caso), usando la fuente de respaldo (México) en cualquier momento que el inventario caiga por debajo de un umbral. Sus simulaciones indican que, en la práctica, abastecer aproximadamente 75% de la demanda con la fuente más barata como carga básica y el resto con la fuente de respaldo, es una política bastante eficaz de abastecimiento adaptado. Sus resultados muestran que la fracción de la demanda asignada como carga básica a la fuente más barata aumenta a medida que crece la demanda y la diferencia de costos con la instalación de respaldo. La fracción de la demanda asignada como carga básica a la fuente más barata disminuye a medida que decrece la fiabilidad de la fuente más barata, o cuando aumenta la volatilidad de la demanda y el costo de retención del inventario.

En el *abastecimiento adaptado con base en el producto*, los artículos de bajo volumen con demanda incierta se obtienen de una fuente flexible, mientras que los productos de alto volumen con menos incertidumbre en su demanda se obtienen de una fuente eficiente. Un ejemplo de abastecimiento adaptado con base en el producto es Levi Strauss, la cual vende jeans de tamaño estándar y jeans que pueden personalizarse.

Los jeans estándar tienen una demanda relativamente estable, mientras que la demanda de los jeans personalizados es impredecible. Los jeans personalizados se producen en una instalación flexible, mientras que los jeans estándar se fabrican en una instalación eficiente. Zara también sigue una estrategia de abastecimiento adaptado con base en el producto y obtiene más de la mitad de su producción en plantas de respaldo en Europa, mientras que el resto proviene de plantas de costo menor en Asia. Sus artículos que dependen más de la moda y que tienen la demanda menos previsible se fabrican en instalaciones europeas de respaldo. Las prendas que son más predecibles y pueden venderse por periodos más largos, como las camisetas básicas, se obtienen en las instalaciones más baratas de Asia.

En algunos casos los productos nuevos tienen una demanda incierta, mientras que los bien establecidos tienen una demanda más estable. El abastecimiento adaptado con base en el producto puede implementarse con una instalación flexible que se centre en los productos nuevos, e instalaciones eficientes que se enfoquen en los productos bien establecidos. Éste suele ser el caso en la industria farmacéutica.

13.4 AJUSTE DE LA DISPONIBILIDAD DEL PRODUCTO PARA MÚLTIPLES ARTÍCULOS BAJO RESTRICCIONES DE CAPACIDAD

En nuestro análisis realizado hasta este punto, hemos supuesto que una compañía puede establecer su nivel deseado de disponibilidad del producto y que no hay restricciones que interfieran con esta elección. Un escenario común en el cual no se produce este supuesto, es cuando el nivel deseado de disponibilidad del producto resulta en un tamaño de pedido que excede la capacidad disponible del proveedor. Al ordenar un producto único, es óptimo para el comprador ordenar el mínimo de la capacidad disponible y la cantidad de pedido óptima. Por otra parte, al ordenar varios productos, el comprador debe tener en cuenta el equilibrio entre ordenar una mayor cantidad de un producto o de otro.

Considere una tienda departamental que tiene previsto pedir dos estilos de suéter a un proveedor italiano. Se pronostica que la demanda del suéter de primer nivel tiene una distribución normal, con una media de μ_1 = 1,000 y una desviación estándar de σ_1 = 300. La demanda del suéter de nivel medio se distribuye normalmente, con una media de μ_2 = 2,000 y una desviación estándar de σ_2 = 400. El suéter de nivel alto tiene un precio de venta al público de p_1 = \$150, con un costo c_1 = \$50 y un valor de salvamento s_1 = \$35. El suéter de nivel medio tiene un precio de venta al público de p_2 = \$100, un costo c_2 = \$40 y un valor de salvamento s_2 = \$25. Con base en la ecuación 13.1, el nivel óptimo de la disponibilidad del producto para el suéter de nivel alto es de 0.87 y el del suéter de nivel medio es de 0.8. Así, sin restricciones de capacidad, para la tienda departamental es óptimo pedir 1,337 unidades del suéter de nivel alto y 2,337 unidades del suéter de nivel medio. Si la capacidad del proveedor está restringida a 3,000 unidades, la política de pedidos deseada no es factible y la tienda departamental debe reducir el tamaño de su pedido en al menos 674 unidades. ¿Dónde debe aplicarse esta disminución? ¿La disminución debe dividirse por igual entre los dos productos?

Consideramos primero el enfoque simplista de disminuir el tamaño del pedido de cada producto en 337 unidades para obtener un pedido de 1000 suéteres de nivel alto y 2000 suéteres de nivel medio. Este pedido cumple con las limitaciones de capacidad y el beneficio esperado es de \$194,268 (utilizando la ecuación 13.3). Para comprobar si este pedido es óptimo, es posible pensar en términos de la capacidad que se le asigna a los dos estilos. Supongamos que se ha decidido destinar 1,000 unidades al suéter de nivel alto y 1,999 unidades al suéter de nivel medio. Esto deja sólo la última unidad de capacidad por asignar. ¿A qué suéter debe asignarse esta unidad? Es razonable tomar esta decisión con base en la contribución prevista al margen de ganancia si la unidad de capacidad se asigna a cada uno de los dos estilos. La última unidad de capacidad debería asignarse al suéter con la mayor contribución marginal esperada. Recuerde que $F_i(Q_i)$ es la probabilidad de que la demanda para el producto *i* sea de Q_i o menos, y sea $MC_i(Q_i)$ la contribución marginal de un suéter de tipo *i* cuando se hace un pedido por la cantidad Q_i. La contribución marginal esperada se evalúa de manera similar a como se hizo en la tabla 13-2 y se obtiene del modo siguiente:

$$\text{Contribución marginal esperada del suéter de alto nivel} = MC_1(1000)$$

$$= p_1[1 - F_1(1{,}000)] + s_1F_1(1{,}000) - c_1$$
$$= 150 \times (1 - 0.5) + 35 \times 0.5 - 50 = \$42.50$$

Contribución marginal esperada para el suéter de nivel medio = $MC_2(1{,}999)$

$$= p_2[1 - F_2(1{,}999)] + s_2F_2(1{,}999) - c_2$$
$$= 100 \times (1 - 0.499) + 25 \times 0.499 - 40 = \$22.57$$

Claramente, es mejor asignar la última unidad de capacidad al suéter de nivel alto que al suéter de nivel medio. De hecho, el cambio de tamaño a 1,001 para los suéteres de nivel alto y 1,999 para los de nivel medio aumenta las ganancias esperadas en casi $20. Ahora es posible reducir el tamaño para el suéter de nivel medio a 1,998 y preguntarse cómo debe asignarse la última unidad de capacidad. Si se repite el procedimiento anterior, se obtiene que el tamaño de pedido para los suéteres de nivel alto debe aumentarse al menos hasta 1,002. De hecho, el tamaño de pedido para el suéter de nivel alto debe aumentarse hasta que la contribución marginal esperada para este tipo de suéter sea igual que para el suéter de nivel medio. En ese punto ya no tiene sentido trasladar la capacidad de un tipo de suéter a otro. La asignación óptima de la capacidad resulta ser de 1,089 suéteres de nivel alto y 1,911 de nivel medio. Las ganancias esperadas para este pedido son de $195,152. Observe que en el punto óptimo, al suéter de nivel alto se le asigna una proporción relativamente alta de la capacidad disponible, debido a que su margen en relación con el costo de exceso de inventario es mayor que el del suéter de nivel medio.

La idea de asignar la capacidad disponible al producto con la mayor contribución marginal esperada puede convertirse en un procedimiento de solución. Considere que cada producto i tiene una demanda media μ_i y una desviación estándar σ_i. El producto i tiene un precio de venta p_i, un costo c_i y un valor residual s_i. Si se asigna la cantidad Q_i al producto i, la contribución marginal esperada se obtiene como

$$MC_i(Q_i) = p_i[1 - F_i(Q_i)] + s_iF_i(Q_i) - c_i$$

El siguiente procedimiento asigna cada unidad de capacidad al producto con la mayor contribución marginal esperada. Sea B la capacidad total disponible.

1. Establezca la cantidad $Q_i = 0$ para todos los productos i.
2. Calcule la contribución marginal esperada $MC_i(Q_i)$ para cada producto i.
3. Si ninguna contribución marginal esperada es positiva, deténgase. En caso contrario, sea j el producto con la más alta contribución marginal esperada. Aumente Q_j en una unidad.
4. Si la cantidad total de productos es menor que B, vuelva al paso 2. En caso contrario, la restricción de capacidad se ha cumplido y las cantidades actuales son las óptimas.

En la tabla 13-5 se muestran los resultados parciales de la aplicación del procedimiento descrito anteriormente para los datos de la tienda departamental.

Las cantidades de pedido bajo restricciones de capacidad también pueden obtenerse mediante la resolución de un problema de optimización. Sea $\Pi_i(Q_i)$ la ganancia esperada que se obtiene con la ecuación 13.3, al ordenar Q_i unidades del producto i. Las cantidades de pedido apropiadas pueden obtenerse resolviendo el siguiente problema de optimización:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{n} \Pi_i(Q_i)$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i \leq B$$
$$Q_i \geq 0$$

Tabla 13-5 Aplicación del procedimiento de solución para obtener las cantidades de pedido bajo restricciones de capacidad

	Contribución marginal esperada		Cantidad de pedido	
Capacidad restante	**Nivel alto**	**Nivel medio**	**Nivel alto**	**Nivel medio**
3,000	99.95	60.00	0	0
2,900	99.84	60.00	100	0
2,100	57.51	60.00	900	0
2,000	57.51	60.00	900	100
800	57.51	57.00	900	1,300
780	54.59	57.00	920	1,300
300	42.50	43.00	1,000	1,700
200	42.50	36.86	1,000	1,800
180	39.44	36.86	1,020	1,800
40	31.89	30.63	1,070	1,890
30	30.41	30.63	1,080	1,890
10	29.67	29.54	1,085	1,905
1	29.23	29.10	1,088	1,911
0	29.09	29.10	1,089	1,911

Punto clave

Cuando se ordenan varios productos bajo una capacidad de oferta limitada, la asignación de la capacidad a los productos debe basarse en la contribución marginal esperada para las ganancias. Este enfoque asigna una fracción relativamente alta de la capacidad a los productos que tienen un alto margen en relación con su costo de exceso de inventario.

13.5 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES ÓPTIMOS DE DISPONIBILIDAD DEL PRODUCTO EN LA PRÁCTICA

1. ***Tenga cuidado con los niveles predeterminados de disponibilidad.*** A menudo, las empresas tienen un objetivo preestablecido para la disponibilidad de los productos sin ningún tipo de justificación. En tal situación los gerentes deben investigar las razones del nivel previsto para la disponibilidad del producto. Un gerente puede proporcionar un valor significativo al ajustar el nivel previsto de disponibilidad del producto a un nivel que maximice las ganancias.

2. ***Utilice costos aproximados porque las soluciones que maximizan las ganancias son bastante robustas.*** Las empresas deben evitar gastar una enorme cantidad de esfuerzo en obtener estimaciones exactas de los diversos costos utilizados para evaluar los niveles óptimos de disponibilidad del producto. Los niveles cercanos a la disponibilidad óptima del producto suelen producir ganancias cercanas a la ganancia óptima. Por lo tanto, no es esencial que todos los costos se estimen con precisión. En general, una aproximación razonable de los costos producirá objetivos casi óptimos en cuanto al nivel de la disponibilidad del producto.

3. ***Estime un rango para el costo de desabasto***. Con frecuencia, los esfuerzos de las compañías para establecer los niveles de disponibilidad del producto se empantanan en el debate sobre el costo de desabasto. El carácter en ocasiones polémico de este costo y la dificultad de cuantificar sus componentes (como la pérdida de la buena voluntad del cliente), lo convierten en un parámetro sobre el que es difícil que las personas de diferentes funciones se pongan de acuerdo. Sin embargo, casi nunca es necesario estimar un costo preciso de desabasto. Usando un rango del costo, un gerente puede determinar los niveles adecuados de disponibilidad y los beneficios asociados. A menudo, los beneficios no cambian significativamente en el rango, eliminando así la necesidad de una estimación más precisa del costo de desabasto.

4. ***Adapte su respuesta a la incertidumbre.*** Un gerente debe reconocer que las estrategias como la respuesta rápida y el aplazamiento son más eficaces cuando la imprevisibilidad subyacente es grande. Así, para la parte de la demanda que es relativamente predecible resulta mejor centrarse en el método de producción con el costo más bajo, incluso si no es sensible a la respuesta. Por otro lado, la porción impredecible de la demanda debe atacarse utilizando un enfoque más sensible a la respuesta (aplazamiento o respuesta rápida), aunque sea más caro.

13.6 RESUMEN

1. ***Identificar los factores que afectan el nivel óptimo de disponibilidad de producto y evaluar el nivel de servicio del ciclo óptimo***. El costo del exceso de inventario en una unidad y el margen de pérdida actual y futura por la escasez de inventario en una unidad, son los dos principales factores que afectan el nivel óptimo de la disponibilidad del producto. El nivel óptimo de la disponibilidad se obtiene mediante un equilibrio entre los costos de exceso y de escasez de inventario. A medida que aumenta el costo del exceso de inventario, lo óptimo es bajar el nivel previsto de disponibilidad del producto. A medida que aumenta el margen perdido por escasez de inventario, lo óptimo es elevar el nivel previsto de disponibilidad del producto.

2. ***Utilizar los instrumentos administrativos que mejoren la rentabilidad de la cadena de suministro a través de los niveles de servicio óptimos.*** Un gerente puede aumentar la rentabilidad de la cadena de suministro mediante (a) el aumento del valor de salvamento de cada unidad de inventario en exceso, (b) la reducción del margen perdido por un desabasto, (c) la mejora del pronóstico para reducir la incertidumbre de la demanda, (d) la respuesta rápida para reducir los tiempos de espera y la realización de varios pedidos en una temporada, (e) el aplazamiento para retrasar la diferenciación de los productos, y (f) el abastecimiento adaptado mediante una fuente flexible de suministro con tiempo de espera corto, que sirva como respaldo a una fuente de suministro de costo bajo.

3. ***Comprender las condiciones bajo las cuales el aplazamiento es valioso para la cadena de suministro***. El aplazamiento es valioso en una cadena de suministro cuando una empresa vende una gran variedad de productos, con una demanda altamente impredecible, de aproximadamente el mismo tamaño y que no se correlaciona positivamente. El aplazamiento no es tan importante si la demanda llega a ser predecible o se correlaciona positivamente. Éste tampoco es tan valioso si una gran parte de la demanda proviene de pocos productos. En tal entorno resulta más eficaz el aplazamiento adaptado, mediante el cual las cargas básicas no se posponen pero la variación sí.

4. ***Asignar una capacidad de oferta limitada entre varios productos para maximizar las ganancias esperadas.*** Cuando la capacidad de la oferta disponible es limitada, ésta debe asignarse a los productos en función de su contribución marginal esperada a las ganancias. En la asignación óptima la contribución marginal esperada de cada producto es la misma. Cuando no hay ninguna restricción de capacidad, la contribución marginal esperada de cada producto en optimalidad es cero.

Preguntas para debate

1. Considere dos productos con el mismo precio pero diferentes márgenes. ¿Cuál producto debería tener un mayor nivel de disponibilidad? ¿Por qué?
2. Considere dos productos con el mismo margen almacenados por una tienda minorista. Todas las unidades sobrantes de un producto no tienen valor de salvamento. Las unidades sobrantes del otro producto pueden venderse a las tiendas de descuento. ¿Cuál producto debería tener un mayor nivel de disponibilidad? ¿Por qué?
3. Una empresa mejora su precisión de pronóstico al tener un mejor conocimiento de los mercados. ¿Qué impacto tendrá esto en los inventarios y en la rentabilidad de la cadena de suministro? ¿Por qué?
4. ¿Cómo puede usarse el aplazamiento de la diferenciación del producto para mejorar la rentabilidad de la cadena de suministro?
5. ¿Cuáles son algunos de los escenarios en los que posponer la diferenciación de todos los productos puede no ser rentable? ¿Cómo puede ayudar el aplazamiento adaptado en tales situaciones?
6. Zara ha utilizado la producción local en Europa para tener tiempos de reabastecimiento cortos. ¿De qué manera ayudará esta capacidad de respuesta rápida a que la compañía mejore sus ganancias en el mercado altamente volátil de la ropa de moda?
7. ¿Cuándo puede usarse el abastecimiento adaptado para mejorar las ganancias en la cadena de suministro? ¿Cuáles son algunos de los problemas al implementar el abastecimiento adaptado?

Ejercicios

1. Green Thumb, fabricante de equipos para el cuidado del césped, ha introducido un nuevo producto. La fabricación de cada unidad cuesta $150 y el precio de introducción es de $200. A este precio, la demanda prevista se distribuye normalmente con una media de $\mu = 100$ y una desviación estándar de $\sigma = 40$. Todas las unidades que al final de la temporada no se venden tienen poco valor y se mandan a una venta de liquidación a $50 cada una. Su precio por mantener una unidad en inventario durante toda la temporada es de $20. ¿Cuántas unidades debe fabricar Green Thumb para ponerlas a la venta? ¿Cuál es la ganancia esperada de esta política? En promedio, ¿qué número de clientes espera perder Green Thumb debido al desabasto?
2. El gerente general de Green Thumb decide llevar a cabo extensas investigaciones de mercado para su nuevo producto. Al final de la investigación de mercado, el gerente estima que la demanda se distribuye normalmente, con una media de $\mu =$ 100 y una desviación estándar de $\sigma = 15$. ¿Cómo debe alterar Green Thumb sus planes de producción del ejercicio 1, como resultado de la investigación de mercado? ¿Qué incremento de las ganancias se espera observar? ¿Cómo afecta el pronóstico mejorado a la demanda perdida por Green Thumb debido a la escasez de inventario? Utilice la información de costos y precios del ejercicio 1.
3. El gerente de Goodstone Tires, un distribuidor de neumáticos en Illinois, utiliza una política de revisión continua para administrar el inventario. El gerente suele ordenar 10,000 neumáticos cuando el inventario se reduce a 6,000 llantas. La demanda semanal de neumáticos se distribuye normalmente, con una media de 2,000 y una desviación estándar de 500. El tiempo de reabastecimiento para los neumáticos es de dos semanas. Cada llanta le cuesta a Goodstone $40 y la empresa vende cada neumático por $80. Goodstone incurre en un costo de retención de 25%. ¿Cuánto inventario de seguridad retiene actualmente Goodstone? ¿A qué costo de escasez de inventario se justifica la política que actualmente sigue el gerente? ¿Cuánto inventario de seguridad debe retener Goodstone si el costo de escasez de inventario es de $80 por neumático en el margen perdido actual y futuro?
4. Champion fabrica chaquetas de lana invernales para su venta en Estados Unidos. La demanda de chaquetas durante la estación tiene una distribución normal, con una media de 20,000 y una desviación estándar de 10,000. Cada chaqueta se vende por $60 y su producción cuesta $30. Las chaquetas sobrantes al final de la temporada se venden por $25 en una venta de liquidación de fin de año. La retención de chaquetas hasta la venta de fin de año agrega otros $5 a su costo. Un empleado recientemente contratado sugiere enviar las chaquetas sobrantes a América del Sur para su venta en el invierno austral, en vez de realizar una liquidación. En América del Sur cada chaqueta se vende a un precio de $35 y es probable que se vendan todas las chaquetas enviadas. Los gastos de envío agregan $5 al costo de cualquier chaqueta que se vende en América del Sur. ¿Recomendaría la opción sudamericana? ¿Cómo afectará esta decisión a las decisiones de producción de Champion? ¿Cómo afectará la rentabilidad? En promedio, ¿cuántas chaquetas enviará Champion a Sudamérica cada año?
5. Snoblo, un fabricante de quitanieves, vende cuatro modelos. El modelo básico, Reguplo, tiene la demanda que se distribuye normalmente, con una media de 10,000 y una desviación estándar de 1,000. Los otros tres modelos tienen características adicionales y cada uno tiene una demanda que se distribuye normalmente, con una media de 1,000 y una desviación estándar de 700. Actualmente los cuatro modelos se fabrican en la misma línea a un costo de $100 para Reguplo y $110 para cada uno de los otros tres modelos. Reguplo se vende por $200, mientras que cada uno de los otros tres modelos se vende por $220. Los quitanieves sobrantes se venden al final de la temporada por $80. Snoblo está considerando el uso del abastecimiento adaptado mediante la creación de dos líneas separadas, una para Reguplo y otra para los otros tres modelos. Dado que no se requerirán cambios a la línea de Reguplo, se espera que su costo de producción disminuya a $90. Por otra parte, el costo de producción de los otros tres productos se incrementará a $120. ¿Usted recomendaría el abastecimiento adaptado para Snoblo? ¿Cómo afectará el abastecimiento adaptado a la producción y las ganancias? No tome en cuenta los costos de retención de los quitanieves.
6. AnyLogo suministra ropa a ciertas compañías, las prendas contienen el logotipo de la empresa y se utilizan con fines publicitarios. AnyLogo tiene cuatro clientes principales que son IBM, AT&T, HP y Cisco. Durante la temporada navideña, los logotipos se adornan con un motivos de la Navidad. La demanda de cada empresa por la ropa con motivos navideños se distribuye normalmente, como se muestra en la tabla 13-6.

   AnyLogo produce actualmente toda la ropa, incluyendo el logotipo bordado, en Sri Lanka antes de la temporada navideña. Cada unidad cuesta $15 y AnyLogo la vende a $50. Cualquier inventario sobrante al final de la temporada navideña se queda esencialmente sin valor y no puede reutilizarse para una compañía diferente, por lo que AnyLogo lo dona a la caridad. La retención de ropa en inventario agrega otros $3 al costo por unidad donada. Sin embargo, la donación permite a AnyLogo recuperar $6 por unidad en ahorros de impuestos. ¿Qué cantidades de producción recomienda para AnyLogo? ¿Cuál es la ganancia esperada de la política? En promedio, ¿cuánto espera AnyLogo donar a la caridad cada año?
7. El gerente de AnyLogo está considerando comprar máquinas de bordar de gran velocidad, que le permitirán bordar sobre demanda. En este caso, la ropa se hará en Sri Lanka sin ningún logotipo, el logotipo bordado se aplazará y se hará en Estados Unidos siguiendo la demanda. Esto aumentará el costo por unidad a $18. Sin embargo, AnyLogo no tendrá ninguna prenda específica de una empresa o festividad que deba eliminarse al final de la temporada. La ropa sin logos puede venderse a

Tabla 13-6 Distribución de la demanda para AnyLogo

	IBM	AT&T	HP	Cisco
Media	5,000	7,000	4,000	4,000
DE	2,000	2,500	2,000	2,200

minoristas por $18 la unidad. Los costos de retener inventario y de envío agregan $4 al costo de cualquier prenda restante después de la temporada navideña. Si se usa la información proporcionada en el ejercicio 6, ¿usted recomendaría al gerente de AnyLogo implementar el aplazamiento? ¿Cuál será el impacto del aplazamiento sobre los beneficios y los inventarios?

8. Una importante compañía de comida rápida está realizando una promoción con comidas para niños, en las que se ofrece un juguete Sharky. Se hará un solo pedido de juguetes. Cada juguete cuesta $0.50 y cualquier juguete no vendido tendrá que ser desechado al final de la promoción. El margen de cada comida (incluyendo el juguete) es de $1.00 y los niños son propensos a irse con un competidor si la empresa de comida rápida se queda sin juguetes. Se pronostica que la demanda de comidas con juguete tiene una distribución normal, con una media de 50,000 y una desviación estándar de 15,000.

- **a.** ¿Cuántos juguetes Sharky deberán ordenarse con antelación a la promoción?
- **b.** Se ha detectado la problemática de que los clientes que se van con los competidores puedan perderse en el largo plazo. Se estima que el costo de no tener juguetes en inventario es de $5 por unidad faltante, debido a la pérdida de ventas actuales y futuras. ¿De qué manera afectará esta información al número de juguetes Sharky que debe pedirse?

9. La Compañía Highland (THC) está planeando los pedidos para su catálogo de invierno. Se hará un pedido al principio de la temporada. El pronóstico de la demanda para una de sus chaquetas es normal, con una media de 5,000 y una desviación estándar de 2,000. Cada chaqueta se compra por $100 y las chaquetas sobrantes al final de la temporada se venden a través de una tienda de descuento por $75. A este precio, se espera que prácticamente se vendan todas las chaquetas. Almacenar una chaqueta sin vender durante la temporada y luego trasladarla a la tienda de descuento cuesta otros $15. Los miembros del comité de compras no están de acuerdo con el efecto del exceso de inventario y con el número de chaquetas a ordenar. Uno de los miembros cree que deben pedirse 6,000 chaquetas, mientras que otro quiere encargar 8,000.

- **a.** ¿A qué costo del exceso de inventario se justificaría el tamaño de pedido de cada miembro?
- **b.** Si el precio de venta previsto es de $200, describa una situación en la que ordenar 6,000 chaquetas tenga sentido. Describa otra situación en la que ordenar 8,000 chaquetas tenga sentido.

10. Sport Obermeyer (SO) es un fabricante de ropa para esquiar. Una chaqueta de esquiar se obtiene a un costo de $80 y se vende por $125. Se coloca un solo pedido al comienzo de la temporada. Al final de la temporada SO envía cualquier chaqueta sobrante a tiendas de descuento para su venta a $70. Mantener una chaqueta en inventario durante toda la temporada y luego enviarla a un centro de venta cuesta $10. Se ha pronosticado que la demanda de chaquetas para esquiar se distribuye normalmente con una media de 4,000 y una desviación estándar de 1,750.

- **a.** ¿Cuántas chaquetas debe ordenar SO para la temporada suponiendo que hace un solo pedido?
- **b.** ¿Cuál es la ganancia esperada de esta política?
- **c.** ¿Cuál es el exceso de inventario esperado al final de la temporada, que se enviará a las tiendas de descuento?
- **d.** SO está considerando una alternativa que es enviar las chaquetas sobrantes al final de la temporada para su venta en el hemisferio sur. Con esta opción, SO espera que el valor de salvamento aumente a $75 incluyendo todos los costos. ¿Cómo afectará este cambio la cantidad ordenada, las ganancias esperadas y al exceso de inventario esperado que se enviara al hemisferio sur? ¿Usted recomienda esta opción?

11. La demanda diaria de aspirina en la farmacia DoorRed tiene una distribución normal, con una media de 40 frascos y una desviación estándar de 5. El tiempo de reabastecimiento del proveedor es de un día. La política de inventario actual en DoorRed es pedir 200 frascos cuando la cantidad disponible cae por debajo de 45. El precio de cada frasco en DoorRed es de $4, y la farmacia utiliza un costo de retención de 25%.

- **a.** Si se supone que toda la demanda no cubierta se reserva y se prorroga para el próximo ciclo, ¿qué costo de escasez de inventario justifica la política actual?
- **b.** Si se supone que toda la demanda no cubierta se pierde, ¿qué costo de desabasto justifica la política actual?
- **c.** DoorRed cree que toda demanda insatisfecha puede reservarse si los clientes reciben un descuento de $1.50 en su próxima compra (lo que efectivamente hace que el costo de escasez de inventario sea de $1.50). ¿Qué política de inventario recomienda usted para DoorRed?

12. Lake Grove Confectionaries (LGC) vende chocolates para las temporadas de vacaciones en cajas especialmente diseñadas. La empresa vende cuatro diseños y actualmente todo el empacado se realiza en la planta después de fabricar los chocolates. Toda la fabricación y el empacado para la temporada vacacional se terminan antes del inicio de la temporada. La previsión de la demanda para cada uno de los cuatro diseños es normal, con una media de 20,000 y una desviación estándar de 8,000. Cada caja cuesta $10 y se vende por $20. Las cajas no vendidas al final de la temporada se descuentan a $8 y todas se venden a ese precio. El costo de mantener una caja en inventario durante la temporada antes de venderla con descuento es de $1.

- **a.** ¿Cuántas cajas de cada diseño debe fabricar LGC?
- **b.** ¿Cuál es la ganancia esperada a partir de esta política?
- **c.** ¿Cuántas cajas con descuento se espera que venda LGC?
- **d.** Una opción considerada por LGC es separar la producción de chocolate y el empacado. Los chocolates se producirán antes del inicio de la temporada, pero el empacado se realizará en una línea rápida a medida que lleguen los pedidos. La línea ráoida y la separación de los pasos agregan $2 al costo de producción. ¿Cuántas cajas de chocolates debe fabricar LGC si decide aplazar el empacado? ¿Cuál es la ganancia esperada? ¿Cuántas cajas con descuento venderá LGC si se utiliza el aplazamiento?
- **e.** ¿A qué costo adicional de aplazamiento (en vez de los actuales $2) será indiferente que LGC opere con y sin aplazamiento?

13. The Knitting Company (TKC) está planeando la producción de sus cuatro estilos de suéter que son populares durante la Navidad. Los cuatro estilos tienen una demanda que se distribuye

normalmente. El estilo más vendido tiene una demanda esperada de 30,000 y una desviación estándar de 5,000. Cada uno de los otros tres estilos tiene una demanda esperada de 10,000 con una desviación estándar de 4,000. En la actualidad todos los suéteres se producen antes del inicio de la temporada. El costo de producción es de $20 por suéter y se venden a un precio de $35 al mayoreo. Los suéteres no vendidos al final de la temporada se descuentan a $15 y todos se venden a ese precio. El costo de mantener en inventario durante toda la temporada un suéter que no se vende es de $2.

a. ¿Cuántos suéteres de cada tipo debe fabricar TKC?
b. ¿Cuál es la ganancia esperada a partir de esta política?
c. ¿Cuántos suéteres con descuento se espera que venda TKC?
d. TKC está considerando el aplazamiento del tejido y usar máquinas flexibles. Esto requerirá fabricar suéteres básicos (idénticos para cada uno de los cuatro tipos) con anticipación y tejer los patrones finales más tarde. Lo anterior aumentará el costo de producción del suéter a $21.40. ¿Cuántos suéteres debe fabricar TKC con aplazamiento? ¿Cuál es la ganancia esperada con esta política?
e. Otra opción es producir el estilo popular sin aplazamiento y los otros tres estilos usando el aplazamiento. ¿Cuál es la ganancia esperada de acuerdo con esta política?

14. Un diseñador está planeando los pedidos para su edición limitada anual de adornos. Se ha pronosticado que la demanda se distribuya normalmente, con una media de 20,000 y una desviación estándar de 8,000. Cada adorno cuesta $30 y se vende por $95. Todos los adornos que no se venden se destruyen al final de la temporada para garantizar el valor de la edición limitada.

a. ¿Cuántos adornos debe ordenar el diseñador? ¿Cuál es la ganancia esperada?
b. El fabricante ha ofrecido descontar el precio a $28 por adorno si se piden por lo menos 25,000. ¿Cómo debe responder el diseñador?

15. Un editor está imprimiendo calendarios para el próximo año. La demanda de calendarios se distribuye normalmente, con una media de 70,000 y una desviación estándar de 25,000. El costo de cada calendario es de $3 y se venden a $10 cada uno. Todos los calendarios no vendidos se reciclan a finales de enero.

a. ¿Cuántos calendarios debería imprimir el editor? ¿Cuál es la ganancia esperada?
b. El impresor ha ofrecido descontar el costo de impresión a $2.75 por calendario si el editor pide al menos 100,000. ¿Qué debe hacer el editor?

16. Un fabricante de productos electrónicos ha subcontratado la producción de sus más recientes reproductores de MP3 a un fabricante por contrato en Asia. La demanda de reproductores ha superado todas las expectativas y el fabricante por contrato tiene una capacidad de producción limitada. El fabricante de productos electrónicos vende tres tipos de reproductores: uno de 40 GB, otro de 20 GB y un tercero de 6 GB. Para la próxima temporada de vacaciones, la demanda pronosticada del reproductor de 40 GB tiene una distribución normal, con una media de 20,000 y una desviación estándar de 7,000; el pronóstico de la demanda para el reproductor de 20 GB tiene una media de 40,000 y una desviación estándar de 11,000; y el de la demanda para el reproductor de 6 GB tiene una media de 80,000 y una desviación estándar de 16,000. El reproductor de 40 GB tiene un precio de venta de $200, con un costo de producción de $100 y un valor de salvamento de $80. El reproductor de 20 GB tiene un precio de venta de $150, con un costo de producción de $90 y un valor de salvamento de $70. El reproductor de 6 GB tiene un precio de venta de $100, con un costo de producción de $70 y un valor de salvamento de $50.

a. ¿Cuántas unidades de cada tipo de reproductor debe ordenar el fabricante de productos electrónicos si no hay restricciones de capacidad?
b. El fabricante por contrato tiene una capacidad de producción disponible de sólo 140,000 unidades. ¿Cuál es la ganancia esperada si el fabricante de productos electrónicos ordena 20,000 unidades del reproductor de 40 GB, 40,000 del reproductor de 20 GB y 80,000 del reproductor de 6 GB?
c. ¿Cuántas unidades de cada tipo de reproductor debe ordenar el fabricante de electrónicos si la capacidad disponible es de 140,000? ¿Cuál es la ganancia esperada?

Bibliografía

Allon, Gad y Jan A. Van Mieghem. (Enero 2010). Global Dual Sourcing: Tailored Base-Surge Allocation to Near and Offshore Production. *Management Science* 56, pp. 110-124.

Cachon, Gerard P. y Marshall L. Fisher. (1997). Campbell Soup's Continuous Product Replenishment Program: Evaluation and Enhanced Decision Rules. *Production and Operations Management* 6, pp. 266-276.

Cachon, Gerard P. y Martin A. Lariviere. (Marzo 2001). Turning the Supply Chain into a Revenue Chain. *Harvard Business Review,* pp. 20-21.

Clark, Theodore H. y Janice H. Hammond. (1997). Reengineering Channel Reordering Processes to Improve Total Supply Chain Performance. *Production and Operations Management* 6, pp. 248-265.

Fisher, Marshall L., Janice H. Hammond, Walter R. Obermeyer y Ananth Raman. (Mayo-junio 1994). Making Supply Meet Demand in an Uncertain World." *Harvard Business Review,* pp. 83-93.

Ghemawat, Pankaj y José Luis Nueno. (2006). Zara: Fast Fashion. *Harvard Business School.* Caso 9, pp. 703-497.

Nahmias, Steven. (1997). *Production and Operations Analysis*. Burr Ridge, IL: Richard P. Irwin.

Padmanabhan, V. e Ivan P.L. Png. (Otoño de 1995). Returns Policies: Making Money by Making Good. *Sloan Management Review,* pp. 65-72.

Pasternack, Barry A. (1985). Optimal Pricing and Return Policies for Perishable Commodities. *Marketing Science* 4, pp. 166-176.

Signorelli, Sergio, y James L. Heskett. (1984). Benetton (A). *Harvard Business School.* Caso 9. pp. 685-014.
Silver, Edward A., David Pyke, y Rein Petersen. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Nueva York: Wiley.
Tayur, Sridhar, Ram Ganeshan, y Michael Magazine, eds. (1999). *Quantitative Models for Supply Chain Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
The Critical-Fractile Method for Inventory Planning. *Harvard Business School* Nota 9. pp. 191-132, 1991.

APÉNDICE 13A

Nivel óptimo de disponibilidad del producto

Objetivo:

Evaluar el nivel de disponibilidad del producto que maximice la ganancia.

Análisis:

Suponga que la demanda es una variable no negativa aleatoria continua con función de densidad $f(x)$ y función de distribución acumulada $F(x)$. C_u es el margen por unidad y, en consecuencia, el costo unitario por escasez de inventario. C_o es el costo unitario por exceso de inventario.

Suponga que se compran Q unidades y surge una demanda de x unidades. Si $Q \leq x$, todas las Q unidades se venden y se obtiene una ganancia de QC_u. Por otro lado, si $Q > x$, sólo se venden x unidades y se obtiene una ganancia de $xC_u - (Q - x)C_o$. Entonces, la ganancia esperada $P(Q)$ está dada por

$$P(Q) = \int_0^Q [xC_u - (Q - x)C_o]f(x)dx + \int_Q^\infty QC_u f(x)dx$$

Para determinar el valor de Q que maximiza la ganancia esperada $P(Q)$ tenemos

$$\frac{dP(Q)}{d(Q)} = -C_o\int_0^Q f(x)dx + C_u\int_Q^\infty f(x)dx$$
$$= C_u[1 - F(Q)] - C_oF(Q) = 0$$

Esto implica un tamaño de pedido óptimo Q^*, donde

$$F(Q^*) = \frac{C_u}{C_u + C_o}$$

Se puede verificar que la segunda derivada es negativa, lo que implica que la ganancia total esperada se maximiza en Q^*.

APÉNDICE 13B

Una evaluación intermedia

Objetivo:

Dado que x tiene una distribución normal, con una media μ y una desviación estándar σ, demuestre que

$$A = \int_{x=-\infty}^{a} xf(x)dx = \mu F_S\left[\frac{(a - \mu)}{\sigma}\right] - \sigma f_S\left[\frac{(a - \mu)}{\sigma}\right] \quad \textbf{(13.8)}$$

Aquí $f(x)$ es la función de densidad normal, $f_S()$ es la función de densidad normal estándar y $F_S()$ es la función de distribución normal estándar acumulada.

Análisis:

Con base en la ecuación 12.20 tenemos

$$A = \int_{x=-\infty}^{a} xf(x)dx = \int_{-\infty}^{a} x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx$$

Sustituya $z = (x - \mu)\sigma$. Esto implica que $dx = \sigma\, dz$. Así, tenemos

$$A = \int_{z=-\infty}^{(a-\mu)/\sigma} (z\sigma + \mu) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

$$= \mu \int_{z=-\infty}^{(a-\mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz + \sigma \int_{z=-\infty}^{(a-\mu)/\sigma} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Dada la relación entre la función de distribución acumulada y la función de densidad de probabilidad, utilizamos la definición de la distribución normal estándar y la ecuación 12.18 para obtener

$$F_S(t) = \int_{z=-\infty}^{t} f_S(z)dz = \int_{z=-\infty}^{t} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Sustituya $w = z^2/2$ en la expresión para A. Esto implica que $dw = z\, dz$. Por lo tanto,

$$A = \mu F_S\left[\frac{(a - \mu)}{\sigma}\right] + \sigma \int_{w=\infty}^{(a-\mu)^2/2\sigma^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-w} dw$$

o bien

$$A = \mu F_S\left[\frac{(a - \mu)}{\sigma}\right] - \sigma f_s\left[\frac{(a - \mu)}{\sigma}\right]$$

APÉNDICE 13C

Ganancia esperada de un pedido

Objetivo:

Suponga que la demanda tiene una distribución normal, con una media μ y desviación estándar σ. Cada unidad se vende a un precio de $\$p$ y cuesta $\$c$. Las unidades no vendidas dan un valor de salvamento de $\$s$. Obtenga una expresión para la ganancia esperada si se ordenan O unidades.

Análisis:

Si se ordenan O unidades y la demanda resulta ser $x \leq O$, cada una de las x unidades vendidas contribuye con $p - c$, mientras que cada una de la $(O - x)$ unidades no vendidas resulta en una pérdida de $c - s$. Si la demanda es mayor que O, cada una de las O unidades vendidas contribuye con $p - c$. Entonces se obtiene

$$\text{Ganancias esperadas} = \int_{x=-\infty}^{O} [(p - c)x - (c - s)(O - x)]f(x)dx$$

$$+ \int_{x=O}^{\infty} O(p-c)f(x)dx = \int_{x=-\infty}^{O} [(p-s)x$$
$$- O(c-s)]f(x)dx + \int_{x=O}^{\infty} O(p-c)f(x)dx$$

Aplicando la ecuación 13.8, obtenemos

$$\int_{x=-\infty}^{O} xf(x)dx = \mu F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] - \sigma f_s\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]$$

De este modo podemos evaluar las ganancias esperadas como

$$\text{Ganancias esperadas} = (p-s)\mu F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] - (p-s)\sigma f_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]$$
$$- O(c-s)F(O,\mu,\sigma) + O(p-c)[1 - F(O,\mu,\sigma)]$$

APÉNDICE 13D

Exceso de inventario esperado de un pedido

Objetivo:

Suponga que la demanda tiene una distribución normal, con media μ y desviación estándar σ. Obtenga una expresión para el exceso de inventario esperado si se ordenaron O unidades.

Análisis:

Si se ordenan O unidades, se presenta un exceso de inventario sólo si la demanda es $x < O$. Entonces tenemos

$$\text{Exceso de inventario esperado} = \int_{x=-\infty}^{O} (O-x)f(x)dx$$
$$= \int_{x=-\infty}^{O} Of(x)dx - \int_{x=-\infty}^{O} xf(x)dx$$
$$= OF_S\left[\frac{O-\mu}{\sigma}\right] - \int_{x=-\infty}^{O} xf(x)dx$$

Por lo tanto, con base en la ecuación 13.8, obtenemos

$$\text{Exceso de inventario esperado} = OF_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] - \mu F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] + \sigma f_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]$$
$$= (O-\mu)F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] + \sigma f_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]$$

APÉNDICE 13E

Escasez de inventario esperada de un pedido

Objetivo:

Suponga que la demanda tiene una distribución normal, con media μ y desviación estándar σ. Obtenga una expresión para la escasez de inventario esperada si se ordenan O unidades.

Análisis:

Si se ordenan O unidades se presenta una escasez de inventario sólo si la demanda es $x > O$. Entonces tenemos

$$\begin{aligned}
\text{Escasez de inventario esperada} &= \int_{x=O}^{\infty}(x - O)f(x)dx \\
&= \int_{x=O}^{\infty}xf(x)dx - \int_{x=O}^{\infty}Of(x)dx = \int_{x=-\infty}^{\infty}xf(x)dx \\
&\quad - \int_{x=-\infty}^{O}xf(x)dx - O\left\{1 - F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]\right\} = (\mu - \mathrm{O}) \\
&\quad + OF_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] - \int_{x=-\infty}^{O}xf(x)dx
\end{aligned}$$

Aplicamos la ecuación 13.8, y obtenemos

$$\begin{aligned}
\text{Escasez de inventario esperada} &= (\mu - O) + OF_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] \\
&\quad - \mu F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] + \sigma f_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right] \\
&= (\mu - O)\left\{1 - F_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]\right\} + \sigma f_S\left[\frac{(O-\mu)}{\sigma}\right]
\end{aligned}$$

APÉNDICE 13F

Simulación en hojas de cálculo

Una simulación es un modelo en computadora que reproduce una situación de la vida real, lo que permite al usuario estimar cuál sería el resultado potencial a partir de cada conjunto de acciones. La simulación es una herramienta poderosa que ayuda a evaluar el efecto de las decisiones empresariales sobre el rendimiento, en un entorno incierto. En algunos casos los escenarios futuros pueden modelarse matemáticamente sin simulación y las fórmulas se pueden obtener a través del efecto de las diferentes políticas sobre el rendimiento. En otros casos, las fórmulas son difíciles o imposibles de obtener, y es necesario utilizar la simulación. Las simulaciones son poderosas porque pueden alojar cualquier número de complicaciones. Con frecuencia, los problemas que son imposibles de resolver analíticamente pueden resolverse con relativa facilidad mediante la simulación. Una buena simulación es una forma barata de probar diferentes acciones e identificar la decisión más eficaz dado un futuro incierto.

Considere a Lands'End, una compañía de pedidos por correo que vende prendas de vestir, la cual se enfrenta a una demanda incierta y necesita tomar decisiones respecto al número de catálogos que debe imprimir y enviar por correo electrónico, el número de unidades que debe pedir para cada producto y los contratos que debe celebrar con sus proveedores. El gerente general de Lands'End quiere evaluar las diferentes polí-

ticas antes de ponerlas en práctica. Una simulación requiere que el gerente cree un modelo en computadora que simule los pedidos, el inventario existente la demanda de los clientes y otros procesos que forman parte de la cadena de suministro de Lands'End.

Una *instancia* de la demanda se refiere a la demanda aleatoria obtenida de la distribución de la demanda. Cada vez que se genera la demanda a partir de una distribución, se produce una nueva instancia. Con base en las estimaciones de la distribución de la demanda futura, las instancias de demanda para los diferentes productos se generan de manera aleatoria. El efecto de una política de pedidos se evalúa para cada instancia de demanda generada. A partir de un gran número de instancias de demanda, el gerente puede evaluar la media y la variabilidad del rendimiento de las políticas; de esta forma es posible evaluar cada una de ellas.

Generación de números aleatorios con Excel

Un paso fundamental en cualquier simulación es la generación de números aleatorios que corresponden a la distribución estimada para la demanda futura o algún otro parámetro. Por ejemplo, si Lands'End ha estimado que la demanda de suéteres de cachemira en el catálogo de invierno se distribuye normalmente con una media de 3,000 y una desviación estándar de 1,000, el gerente debe generar varias instancias de demanda por parte de esta distribución. Varias de las funciones disponibles en Excel generan números aleatorios.

La función *RAND*() genera un número aleatorio que se distribuye uniformemente entre 0 y 1. Hay por lo tanto una probabilidad de 10% de que RAND() genere un número entre 0 y 0.1, un 50% de probabilidad de que genere un número aleatorio entre 0 y 0.5 y una probabilidad de 90% de que genere un número aleatorio entre 0 y 0.9. La función *RAND*()puede usarse para generar números aleatorios a partir de una variedad de distribuciones.

La función de Excel *NORMINV*(*RAND*(), μ, σ) genera un número aleatorio que se distribuye normalmente, con media μ y desviación estándar σ. La función de Excel *NORMSINV*(*RAND*()) genera un número aleatorio que se distribuye normalmente con una media de 0 y una desviación estándar de 1. El hecho de que tanto *NORMINV* como *NORMSINV* puedan generar números negativos suele plantear problemas cuando se utilizan para generar la demanda. Una opción es utilizar un máximo de 0 y *NORMINV*(*RAND*(), μ, σ) para generar la demanda. Esto es adecuado si el coeficiente de variación, *cv*, es menor que 0.4. Para los coeficientes de variación más grandes, es mejor utilizar la distribución logarítmica normal, porque ésta sólo genera números no negativos. La función de Excel *LOGINV*(*RAND*(), μ, σ) genera un número aleatorio X que sigue la distribución log-normal, donde ln(X) tiene una distribución normal, con media μ y desviación estándar σ. Existen varias distribuciones de la demanda que también pueden generarse usando otras funciones de Excel.

Configuración de un modelo de simulación

Lands'End planea vender los suéteres de cachemira en su catálogo de invierno de a \$150 cada uno. El gerente espera que la demanda se distribuya normalmente, con una media de $\mu = 3.000$ y una desviación estándar de $\sigma = 1{,}000$. Hacia el final de la temporada de invierno, Lands'End envía un catálogo de venta con precios de descuento en artículos no vendidos. El precio con descuento determina la demanda en respuesta al catálogo de ventas. El gerente prevé que el catálogo de ventas generará una demanda de suéteres de cachemira con una media de $1{,}000 - 5p$ y una desviación estándar de $(1{,}000 - 5p)/3$, donde p es el precio con descuento. Los suéteres sobrantes después de la venta por catálogo se donan a la caridad. Cada suéter le cuesta a Lands'End \$50. Por lo tanto, de la donación a la caridad se obtienen \$25 en beneficios fiscales. Lands'End incurre en un costo de \$5 por almacenar y transportar a la caridad cada suéter sin vender, lo que resulta en un valor de salvamento de $s = \$20$ por suéter enviado a la caridad. El gerente ha decidido cobrar un precio de descuento máximo de (\$25, \$150 – n/20), donde n es el número de suéteres que quedan después del catálogo de invierno. El gerente desea identificar el número de suéteres que debe adquirir al inicio de la temporada de invierno.

El primer paso es la creación de un modelo de simulación que evalúe la ganancia neta para una instancia de demanda durante la temporada de invierno. El modelo construido se muestra en la figura 13-6.

Uso de la tabla de datos para crear muchas instancias

Después de haber construido el modelo de simulación, el siguiente paso consiste en crear muchas instancias aleatorias de la demanda y evaluar las ganancias promedio de ordenar 3,000 unidades. En Excel, es posible

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	***Pedidos y fijación de precios en Lands'End***								
2									
3	Costo de los suéteres =			$ 50					
4	Precio de venta en el catálogo de invierno =			$ 150					
5	Demanda media del catálogo de invierno =			3,000					
6	DE de la demanda para el catálogo de invierno =			1,000					
7	Demanda media con descuento =			348					
8	DE de la demanda con descuento =			115.83					
9									
10	Cantidad inicial ordenada =			3000		Costo de los suéteres ordenados =			$ 150,000
11	Demanda del catálogo de invierno =			2610		Ingreso por las ventas de invierno =			$ 391,500
12	Suéteres con descuento =			390		Ingreso por las ventas con descuento =			$ 25,187
13	Precio con descuento, p =			$130.5		Beneficio neto de la donación =			$ 3,940
14	Demanda del precio con descuento =			193		Ganancia neta =			**$ 270,627**
15	Número de suéteres vendidos con descuento =			193					
16	Número de suéteres donados a la caridad =			197					
17									
18	Ganancia promedio =	$	266,688.33		Número promedio de suéteres con descuento =				365
19	DE de la ganancia =	$	62,588.49		Número promedio de suéteres donados a la caridad =				179

Número de celda	Fórmula en la celda	Número de celda	Fórmula en la celda
D7	=1000-5*D13	D16	=D12-D15
D8	=D7/3	I10	=D3*D10
D11	=int(max(0,norminv(rand(),D5,D6))	I11	=min(D10,D11)*D4
D12	=max(0,D10-D11)	I12	=D15*D13
D13	=max(25,150-D12/20)	I13	=D16*20
D14	=int(max(0,norminv(rand(),D7,D8))	I14	=sum(I11:I13)-I10
D15	=min(D12,D14)		

FIGURA 13-6 Modelo de simulación en Excel para Lands'End.

usar las *tablas de datos* para lograr múltiples repeticiones de la simulación. El objetivo es evaluar la media y la desviación estándar de las ganancias, el número promedio de suéteres de descuento y el número promedio de suéteres donados a la caridad en replicaciones múltiples. Una tabla de datos se construye en el rango A23:D522 para replicar los resultados de la simulación en 500 instancias de demanda como sigue:

1. Introduzca la fórmula =I14 en la celda B23, =D12 en la celda C23, e =D16 en la celda D23. Como resultado, la ganancia se copia en la celda B23, la cantidad con descuento se copia en la celda C23, y la cantidad donada a la caridad se copia en la celda D23.
2. Seleccione el rango A23:D522. De la barra de herramientas seleccione Data|What-If Analysis|Data Table. En el cuadro de diálogo Table, apunte a la celda A23 como la celda de entrada para la columna. Haga clic en OK.

La tabla de datos se crea en el rango A23:D522. Cada fila de la tabla de datos muestra las ganancias, la cantidad con descuento y la cantidad donada a la caridad para una instancia de demanda aleatoria. Excel vuelve a calcular la simulación con nuevos números al azar para cada fila de la tabla de datos. Ahora podemos obtener la ganancia promedio, el promedio de suéteres con descuento y el número promedio de suéteres donados a la caridad a partir la tabla de datos. Estos datos se calculan respectivamente en las celdas C18, I18 e I19, como se muestra en la figura 13-6.

Cada vez que se pulsa la tecla F9 se generan nuevos números al azar y todas las entradas vuelven a calcularse. El gerente de Lands'End puede utilizar esta simulación para evaluar el efecto de las diferentes políticas iniciales de pedido con base sobre el desempeño.

14



Transporte en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Comprender el rol del transporte en una cadena de suministro.
2. Evaluar las fortalezas y debilidades de los diferentes medios de transporte.
3. Analizar el rol de la infraestructura y las políticas en el transporte.
4. Identificar las fortalezas y debilidades relativas de las diversas opciones de diseño de una red de transporte.
5. Identificar los trueques que los transportistas deben considerar al diseñar una red de transporte.

En este capítulo analizamos el rol del transporte en una cadena de rendimiento e identificamos los trueques (concesiones) que se deben considerar cuando se toman decisiones de transporte. Nuestro objetivo es habilitar a los gerentes para que tomen decisiones relacionadas con la estrategia, diseño, planeación y operación del transporte mediante una comprensión de todas las ventajas y desventajas de sus decisiones.

14.1 ROL DEL TRANSPORTE EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Transporte se refiere al movimiento del producto de un lugar a otro en su recorrido desde el principio de una cadena de suministro hasta el cliente. El transporte es un elemento fundamental de la cadena de suministro porque rara vez los productos se producen y consumen en el mismo lugar. El transporte es un componente significativo de los costos en que incurren la mayoría de las cadenas de suministro. Según el Bureau of Transportation Statistics (BTS) (*Agencia de Estadísticas del Transporte*), "más de 19,000 millones de toneladas de carga valoradas en $13 billones, se transportaron a lo largo de más de 4.4 billones de toneladas-millas en Estados Unidos en 2002".[1] Sólo tres sectores, vivienda, salud y alimentos, tuvieron una participación mayor en el producto interno bruto (PIB) que el transporte. Los trabajos relacionados con el transporte ascendieron a casi 20 millones de personas en 2002, lo que representó 16% del empleo total en Estados Unidos.

El rol del transporte reviste mayor importancia en cadenas de suministro globales. Según la BTS, la red de transporte de carga estadounidense transportó mercancía de exportación e importación con un valor de más de $2.2 billones en 2004. Un incremento de 168% de $822,000 millones en 1990. Durante el mismo periodo, la relación de las exportaciones desde y las importaciones hacia Estados Unidos al PIB se incrementó a 21 por ciento.

[1] *Freight in America,* Bureau of Transportation Statistics, enero 2006.

El éxito de cualquier cadena de suministro está estrechamente vinculado al uso adecuado del transporte. IKEA, detallista escandinavo de muebles para el hogar, ha construido una red global con cerca de 270 tiendas en 26 países principalmente con base en un transporte eficaz. Sus ventas durante el año que terminó en agosto de 2009 ascendieron a 21,500 millones de euros. Su estrategia se construyó en torno a proporcionar productos de buena calidad a bajos precios. Su objetivo es reducir los precios de 2 a 3% cada año. En consecuencia, IKEA trabaja arduamente a fin de encontrar el abastecimiento global más barato para cada uno de sus productos. El diseño modular de sus muebles le permite transportar sus productos en todo el mundo de manera mucho más rentable que un fabricante tradicional de muebles. El gran tamaño de sus tiendas y embarques le permite transportar a bajo costo los muebles hasta la tienda detallista. Gracias al abastecimiento efectivo y al transporte barato, IKEA proporciona globalmente muebles de alta calidad para el hogar a bajo precio.

Seven-Eleven Japan es otra empresa que se ha valido del transporte para lograr sus metas estratégicas. Su objetivo es tener en existencia productos en sus tiendas para satisfacer las necesidades de los clientes que varían por ubicación geográfica o por la hora del día. Para ayudar a alcanzar este objetivo, Seven-Eleven Japan utiliza un sistema de transporte con gran capacidad de respuesta que reabastece sus tiendas varias veces al día, a fin de que los productos disponibles se ajusten a las necesidades de los clientes. Los productos de diferentes proveedores se cargan en camiones de acuerdo con la temperatura requerida para realizar entregas frecuentes a un costo razonable, Seven-Eleven Japan utiliza un sistema de transporte con capacidad de respuesta en combinación con la agregación para reducir sus costos de transporte y recepción al mismo tiempo que garantiza que la disponibilidad del producto se ajuste a la demanda del cliente.

Las cadenas de suministro también utilizan transporte con capacidad de respuesta para centralizar los inventarios y operar con pocas instalaciones. Por ejemplo, Amazon.com depende de los transportistas de paquetería y del sistema postal para entregar pedidos desde almacenes centralizados. El transporte ha permitido a Netflix operar un negocio de renta de películas sin tiendas. La compañía utiliza el transporte con capacidad de respuesta provisto por el sistema postal junto con almacenes adecuadamente localizados para que sus clientes reciban y devuelvan las películas que desean ver.

El *expedidor* es la parte que requiere que se mueva el producto entre dos puntos de la cadena de suministro. El *transportista* es la parte que mueve o transporta el producto. Por ejemplo, cuando Netflix utiliza USPS para enviar sus DVD desde el almacén hasta el cliente, Netflix es el expedidor y USPS es el transportista. Además del expedidor y el transportista, otras dos partes tienen un efecto significativo en el transporte: 1. los propietarios y operadores de la infraestructura de transporte como carreteras, puertos, canales y aeropuertos, y 2. los órganos que establecen la política de transporte en todo el mundo. Las acciones de los cuatro participantes influyen en la eficiencia del transporte.

Para entender el transporte en una cadena de suministro es importante considerar la perspectiva de las cuatro partes. El transportista toma decisiones de inversión con respecto al equipo de transporte (locomotoras, camiones aviones etcétera) y, en algunos casos con respecto a la infraestructura (vías de ferrocarril) y luego toma decisiones de operación para tratar de maximizar el rendimiento de esos activos. Un expedidor, por el contrario, utiliza el transporte para minimizar el costo total (transporte, inventario, información, aprovisionamiento e instalaciones) al mismo tiempo que proporciona un nivel apropiado de capacidad de respuesta al consumidor. La eficiencia de los transportistas depende de la infraestructura como puertos, carreteras, canales y aeropuertos. La mayor parte de la infraestructura a nivel mundial se considera desde la perspectiva de la propiedad y la administración como un bien público. Es importante que se administre de tal forma que se disponga de dinero para mantenimiento e inversión en más capacidad como se requiera. La política de transporte establece la dirección de la cantidad de recursos nacionales que se requieren para mejorar la infraestructura de transporte. La política de transporte también pretende evitar el abuso del poder de monopolio; promover una competencia justa, y balancear las repercusiones ambientales, energéticas y sociales del transporte.

En las siguientes secciones analizamos temas que son importantes desde la perspectiva de los transportistas, los propietarios y operadores de la infraestructura, los encargados de formular las políticas de transporte y los expedidores. En la sección que sigue estudiamos los diferentes medios de transporte, su costo y características de desempeño.

14.2 MEDIOS DE TRANSPORTE Y SUS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Las cadenas de suministro utilizan una combinación de los siguientes medios de transporte:

- Aéreo
- Transportistas de paquetería
- Camiones de carga
- Ferrocarril
- Acuático
- Ductos
- Intermodal

La actividad de carga comercial en Estados Unidos por medio en 2002, y el valor agregado por cada uno al PIB en 2009, se resumen en la tabla 14-1.

Antes de analizar los diversos medios es importante resaltar algunas tendencias importantes en la economía estadounidense. Entre 1970 y 2002, el PIB real de Estados Unidos, medido en dólares del año 2000, creció 176%. Durante el mismo periodo, el transporte de carga estadounidense medido en toneladas-millas creció solamente 73%. En 1970 se requirieron 1.1 toneladas-millas de transporte de carga para producir 1 dólar del PIB. En 2002 se requirieron sólo 1.1 toneladas-millas para producir $1 del PIB. Esta tendencia refleja la reducción del tamaño de los productos con la nueva tecnología y la eficiencia mejorada del sistema de transporte de carga. Esta tendencia ha continuado desde 2002.

La eficiencia de cualquier medio de transporte se ve afectada por las inversiones en equipo y las decisiones de operación del transportista, así como por la infraestructura disponible y las políticas de transporte. El principal objetivo del transportista es asegurar el buen uso de sus activos al tiempo que proporciona a los clientes un nivel de servicio aceptable. Sus decisiones se ven afectadas por el costo del equipo, el costo fijo de operación, los costos variables de operación, la capacidad de respuesta que el transportista pretende proporcionar a su segmento objetivo, y los precios que el mercado soportará. Por ejemplo, FedEx diseñó una red de aviones de manera radial para transportar paquetes y ofrecer tiempos de entrega rápidos y confiables. Por el contrario. UPS utiliza una combinación de aviones, ferrocarril y camiones de carga para proporcionar un transporte más barato con tiempos de entrega un poco más largos. La diferencia entre las dos redes de transporte se refleja en plan de precios. Los precios de entrega al siguiente día de FedEx se basan principalmente en el tamaño del paquete. UPS, por el contrario, cobra tanto por el tamaño como por el destino. Desde la perspectiva de una cadena de suministro, la red aérea radial es más apropiada cuando los precios varían con el destino y una entrega más lenta es aceptable.

Aéreo

Las principales aerolíneas en Estados Unidos que transportan tanto pasajeros como carga son American, Southwest, United y Delta. Las aerolíneas tienen tres componentes de costo: 1. Un costo fijo de infraestructura y equipo; 2. el costo de mano obra y combustible que es independiente de los pasajeros o carga a bordo

Tabla 14-1 Datos de transporte

Medio	Valor de la carga (miles de millones de dólares) en 2002	Toneladas de carga (miles de millones) en 2002	Toneladas-millas de carga (millones) en 2002	Valor agregado al PIB (miles de millones de dólares) en 2009
Aéreo (incluye camión de carga y avión)	563	6	13	61.9
Camión de carga	9,075	11,712	1,515	113.1
Ferrocarril	392	1,979	1,372	30.8
Acuático	673	1,668	485	14.3
Ducto	896	3,529	688	12.0
Multimodal	1,121	229	233	

Fuente: Adaptado de Bureau of Transportation Statistics, *Weight in America*, enero 2006.

pero depende del vuelo, y 3. un costo variable que depende de los pasajeros o carga transportados. Dado que la mayor parte del costo de un vuelo en que se incurre es cuando despega, un objetivo importante de una aerolínea es maximizar el ingreso generado por vuelo. En consecuencia, la administración de los ingresos (vea el capitulo 16) es un factor significativo en el éxito de las aerolíneas de pasajeros.

Los transportistas aéreos ofrecen un medio de transporte rápido y bastante caro para carga. Los artículos pequeños de alto valor o embarques urgentes sensibles al tiempo de entrega que tienen que recorrer una larga distancia son más apropiados para el transporte aéreo. Todas las aerolíneas normalmente transportan carga de menos de 500 libras de peso, incluyendo productos de alta tecnología de gran valor pero de peso ligero. Dado el avance en la alta tecnología, el peso de la carga transportada por aire ha disminuido en las últimas dos décadas, aun cuando de algún modo su valor se ha incrementado. En 2002, en Estados Unidos, los bienes transportados por aire se valoraron en $75,000 por tonelada, por mucho el costo más alto entre todos los medios.

La industria de las aerolíneas en Asia ha tenido un crecimiento significativo en el siglo 21, sobre todo en China e India. En Estados Unidos la industria ha enfrentado tiempos difíciles, con varias aerolíneas que se declararon en quiebra en la primera década del siglo XXI. Esto fue seguido por la consolidación en la industria en Estados Unidos y Europa Occidental. Después de pérdidas exorbitantes en 2008 y 2009, la industria ha sido rentable desde 2010.

Los problemas fundamentales que las líneas aéreas enfrentan son identificar la ubicación y el número de centros de operación, la asignación de aviones a las rutas, el establecimiento de programas de mantenimiento para los aviones, la programación de las tripulaciones, y la administración de los precios y la disponibilidad a diferentes precios.

Transportistas de paquetería

Los *transportistas de paquetería* son compañías de transporte como FedEx, UPS y el servicio postal estadounidense, que transportan paquetes pequeños, desde cartas hasta embarques que pesan cerca de 154 libras (aproximadamente 68 kg). Utilizan aviones, camiones de carga y ferrocarriles para transportar paquetes pequeños urgentes. El transporte por este medio es caro y no puede competir en cuanto a precio con los LTL (*Less-Than-Truckload*) en embarques grandes. El principal servicio que ofrecen a los expedidores es una entrega rápida y confiable, por lo que éstos recurren a transportistas de paquetería para embarques pequeños y sensibles al tiempo. Los transportistas de paquetería también proporcionan otros servicios de valor agregado como seguimiento de paquetes y en algunos casos procesamiento y ensamble de productos.

Los transportistas de paquetería son el medio de transporte preferido de los negocios en línea como Amazon y Dell, y de compañías como W.W. Grainger y McMaster-Carr que envían paquetes pequeños a clientes. Con el crecimiento de las ventas en línea, el uso de transportistas de paquetería se ha incrementado de manera considerable en los últimos años. Los transportistas de paquetería buscan embarques pequeños y más sensibles al tiempo que los de carga aérea, sobre todo cuando el seguimiento y otros servicios de valor agregado son importantes para el expedidor.

Dada la pequeñez de los paquetes y los diversos puntos de entrega, la consolidación de embarques es un factor clave para incrementar la utilización y reducir los costos de los transportistas de paquetería. Éstos cuentan con camiones que hacen entregas locales y recogen paquetes. Los paquetes luego se transportan a grandes centros de clasificación desde donde se envían en camiones completos, ferrocarril o avión al centro de clasificación más cercano al punto de entrega. Desde allí, el paquete se envía al cliente en camiones pequeños que realizan recorridos rutinarios (*milk runs*) (analizados más adelante en el capítulo). Los temas clave en esta industria incluyen la ubicación y capacidad de los puntos de transferencia y la capacidad de información para facilitar y dar seguimiento al flujo de los paquetes. Por lo que se refiere a la entrega final a un cliente, una consideración importante es la programación y asignación de rutas de los camiones de reparto.

Camiones de carga

En casi todo el mundo los camiones de carga transportan una importante fracción de los productos. En 2002 transportaron 69.5% de la carga comercial en Estados Unidos por valor y 60.1% por peso.[2] La industria camionera se compone de dos grandes segmentos: carga completa y carga consolidada (TL, *Truck-Load,* y LTL, *Less-Than-Truckload*). El transporte de carga en camión es más caro que en ferrocarril pero ofrece la

[2] *Freight in America,* Bureau of Transportation Statistics, 2006.

ventaja de recolección a domicilio y un tiempo de entrega más corto. También tiene la ventaja de no requerir transferencia entre la recolección y la entrega.

Las operaciones TL tienen costos fijos relativamente bajos y con frecuencia contar con unos cuantos camiones es suficiente para iniciarse en el negocio. Esta industria se caracteriza por embarques de 10,000 libras o más, y más de 50,000 transportistas ofrecen servicios de carga completa (TL) en Estados Unidos. El desafío en el negocio de transporte de carga completa es que la mayoría de los mercados tienen un desequilibrio de los flujos de entrada y salida. El objetivo de un transportista de carga completa es programar embarques que reditúen un alto ingreso y minimizar el tiempo que los camiones pasan inactivos o viajan vacíos.

Las operaciones LTL tienen un precio que alienta los embarques en lotes pequeños, por lo regular de menos de la mitad de una TL, puesto que la carga completa tiende a ser más barata cuando los embarques son grandes. La LTL es adecuada para embarques que son demasiado grandes para enviarlos por correo, como paquetes pequeños (en general de más de 150 lb) pero que constituyen menos de la mitad de una TL. Los operadores de carga consolidada tienden a emplear redes regionales o radiales nacionales que permiten la consolidación de cargas parciales. Los embarques de carga consolidada se llevan más tiempo que los de carga completa debido a las demás cargas que se deben recolectar o entregar.

Para reducir los accidentes en carretera provocados por la fatiga del conductor, el Departamento del Transporte de Estados Unidos (U.S. Department of Transportation) publica reglamentos de horas de servicio que limitan los periodos de trabajo a los conductores de camiones. Los accidentes relacionados con la fatiga se correlacionan con el número de horas de manejo y se incrementan con la distancia total del viaje del conductor. Los transportistas tanto de TL como de LTL deben diseñar sus rutas teniendo en cuenta estos reglamentos.

Ferrocarril

En 2002 el ferrocarril transportó casi 3% de los embarques en Estados Unidos por valor, 10% por peso y más del 30% del total de toneladas-millas. Estas cifras reflejan el uso del ferrocarril para mover las materias primas a granel a largas distancias. Los transportistas ferroviarios incurren en un alto costo fijo relacionado con las vías, las locomotoras, los vagones y los patios de maniobras. Un costo significativo de la mano de obra y el combustible relacionado con el viaje es independiente del número de vagones (los costos del combustible varían un poco con el número de vagones) pero varía con la distancia recorrida y el tiempo realizado. Cualquier tiempo de inactividad, una vez que el tren está en marcha, es caro, debido a que se incurre en costos de mano de obra y combustible aun cuando los trenes no estén en movimiento. El tiempo de inactividad ocurre cuando los trenes intercambian vagones para diferentes destinos. También ocurre cuando las vías están congestionadas. Los costos de mano de obra y combustible constituyen más de 60% del gasto del ferrocarril. Desde una perspectiva operacional, es por tanto importante que los ferrocarriles hagan un bueno uso de las locomotoras y la tripulación.

La estructura de precios y la gran capacidad de carga pesada hacen del ferrocarril un medio ideal para transportar productos grandes, pesados, o de alta densidad a grandes distancias. Sin embargo, el tiempo de transporte por ferrocarril puede ser largo. Por lo tanto, el ferrocarril es ideal para embarques pesados de bajo valor que no son sensibles al tiempo. El carbón, por ejemplo, es una parte importante de cada embarque por ferrocarril. Los embarques pequeños, sensibles al tiempo, de tiempo de espera corto o de corta distancia rara vez se transportan por ferrocarril.

Un objetivo principal de las compañías ferroviarias es mantener las máquinas y las tripulaciones en movimiento. Los principales problemas operacionales en los ferrocarriles son la programación de las máquinas y el personal, los retrasos en las vías y las terminales, y la puntualidad deficiente. El desempeño del ferrocarril se ve afectado por la gran cantidad de tiempo que se consume en cada transición. El tiempo de recorrido por lo regular es una pequeña fracción del tiempo total que tarda un embarque por ferrocarril. Los retrasos se exacerban debido a que en la actualidad los trenes en general no se programan sino que se "construyen". En otras palabras, un tren se pone en marcha una vez que hay suficientes vagones para constituir el tren. Los varones esperan a que se construya el tren, lo que se agrega a la incertidumbre del tiempo de espera de un expedidor. Un ferrocarril puede mejorar su puntualidad programando algunos de los trenes en lugar de construirlos a todos. En semejante escenario, se tiene que instituir una estrategia de precios que incluya la administración de los ingresos (vea el capítulo 16) para trenes programados.

Acuático

Entre las principales compañías navieras están Maersk, Evergreen Group, American President Lines, y Hanjin Shipping Co. El transporte acuático por su naturaleza, está limitado a ciertas áreas. El transporte acuático

es idealmente adecuado para transportar grandes cargas a bajo costo. En los Estados Unidos el transporte acuático ocurre por el sistema de canales de navegación internos (los Grandes Lagos y los ríos) o las aguas costeras. El transporte acuático es ideal para mover grandes embarques de materias primas a granel a bajo costo. En Estados Unidos, el transporte acuático se utiliza principalmente para el movimiento de grandes embarques de materias primas a granel y es el medio más barato para transportar tales cargas. Sin embargo, es el más lento de todos los medios, y en los puertos y terminales ocurren retrasos significativos. Esto hace que el transporte acuático sea difícil de operar en viajes cortos, aunque se utiliza con eficiencia en Japón y partes de Europa para viajes diarios de unas cuantas millas.

En Estados Unidos, la promulgación de la Ley de Reforma del Transporte Marítimo (Ocean Shipping Reform Act) de 1998 ha sido un suceso importante para el transporte por agua. Esta ley permite a los expedidores y transportistas celebrar contratos confidenciales, lo que efectivamente desregula la industria. La ley es parecida a la desregulación que ocurrió en las industrias camionera y aérea hace dos décadas, y es probable que tenga un efecto similar en la industria naviera.

En el comercio global, el transporte por agua es el medio predominante para embarcar toda clase de productos Los automóviles, granos, ropa y otros productos, se transportan por mar. En 2001, el comercio de mercancías transportadas entre Estados Unidos y los puertos extranjeros se valuó en más de $718,000 millones. El transporte marítimo representó 78% del transporte internacional de mercancía de Estados Unidos por peso en 2002. En cuanto a las cantidades embarcadas y las distancias implicadas en el comercio internacional, el transporte por agua es por mucho el medio de transporte más barato. Una tendencia significativa en el comercio marítimo mundial ha sido el uso creciente de contenedores. Esto ha conducido a una demanda de embarcaciones más grandes, más rápidas y más especializadas para mejorar las economías del transporte en contenedores. Los retrasos en puertos, aduanas, y la seguridad y el manejo de los contenedores utilizados son temas importantes en los embarques globales. El congestionamiento de los puertos en particular ha sido un gran problema en los Estados Unidos.

Ductos

Los ductos se emplean principalmente para transportar petróleo crudo, productos refinados de petróleo y gas natural. En Estados Unidos este medio de transporte representó cerca de 16% de las toneladas-millas totales en 2002. Se incurre en un costo fijo inicial importante en la construcción del ducto y la infraestructura relacionada que no varía significativamente con el diámetro del ducto. Las operaciones del ducto en general se optimizan de 80 a 90% de su capacidad. Dada la naturaleza de los costos, los ductos se adecuan mejor cuando se requieren flujos grandes y relativamente estables. Un ducto puede ser una forma eficaz de llevar petróleo crudo a un puerto o a una refinería. El envío de gasolina a una gasolinera no justifica la inversión en un ducto y se realiza mejor con un camión cisterna. El precio de un ducto por lo regular consta de dos componentes, uno fijo relacionado con la utilización pico del expedidor y el otro relacionado con la cantidad real transportada. Esta estructura de precios alienta al expedidor a utilizar el ducto para el componente predecible de la demanda y a recurrir a otros medios de transporte para cubrir las fluctuaciones.

Intermodal

El transporte *intermodal* es el empleo de más de un medio para transportar un embarque hasta su destino. Es posible hacer diversas combinaciones intermodales, una de las más comunes es la de camión de carga y ferrocarril. El tráfico intermodal ha aumentado considerablemente con el uso creciente de contenedores para los embarques y el incremento del comercio global. Los contenedores son fáciles de transportar de un medio a otro y su uso facilita el transporte intermodal. El transporte de carga en contenedores a menudo utiliza combinaciones de camión de carga/barco/ferrocarril, en particular para carga global. Para comercio global, el medio intermodal suele ser la única opción porque las fábricas y mercados pueden no estar cerca de los puertos. Dado que la cantidad enviada en contenedores ha crecido, la combinación intermodal de camión de carga/barco/ferrocarril también ha crecido. En 2001 la actividad intermodal contribuyó con más de 20% de los ingresos de los ferrocarriles.[3] Por tierra, el sistema intermodal de ferrocarril y camión ofrece el beneficio de costos más bajo que el de TL y mejores tiempos de entrega que los del ferrocarril, así que la reunión de diferentes medios de transporte crea una oferta de precio y servicio que no puede ser igualada por ningún

---

[3] "The Value of Rail Intermodal to the U.S. Economy", consultado el 29 de abril de 2011, en http://intermodal.transportation.org/Documents/brown.pdf.

otro medio individual. También crea la conveniencia para los expedidores, quienes ahora tratan con sólo una entidad que representa los transportistas que, en conjunto, proporcionan el servicio intermodal.

Las cuestiones clave en la industria intermodal implican el intercambio de información para facilitar las transferencias de embarques entre diferentes medios, ya que estas transferencias a menudo implican retrasos considerables, lo que afecta el desempeño del tiempo de entrega.

14.3 INFRAESTRUCTURA Y POLÍTICAS DE TRANSPORTE

Las carreteras, puertos marítimos, aeropuertos, vías férreas y canales de navegación son algunos de los principales elementos de infraestructura que existen a lo largo de los nodos y enlaces de una red de transporte. En casi todos los países, el gobierno ha asumido toda la responsabilidad o ha desempeñado un rol importante en la construcción y administración: de estos elementos de infraestructura. La infraestructura mejorada ha desempeñado un rol significativo en el desarrollo del transporte y en el crecimiento resultante del comercio. El rol de los ferrocarriles y canales navegables en el desarrollo económico de Estados Unidos está bien documentado. En fechas recientes, el efecto de la infraestructura mejorada de carreteras, aeropuertos y puertos marítimos y fluviales en el desarrollo de China es muy notorio.

Antes de considerar las cuestiones políticas relacionadas con la infraestructura de transporte, vale la pena echar un vistazo a la historia de la infraestructura ferroviaria y carretera estadounidenses para ver algunas de las cuestiones implicadas. Resumimos una parte del análisis de Ellison (2002) sobre la historia de los ferrocarriles y la regulación en la industria. La construcción de vías férreas ocurrió con rapidez durante la década de 1850. Los ferrocarriles eran privados, pero se construyeron con un importante subsidio del gobierno, con frecuencia en la forma de cesiones de tierras. Para la década de 1870 la red ferroviaria conectaba a la mayor parte de Estados Unidos. Cada ferrocarril era el proveedor exclusivo de transporte en sus vías. Este monopolio permitió a los ferrocarriles determinar el precio que cobraban, al igual que el nivel de servicio que brindaban a sus clientes. La construcción inicial de nuevas vías férreas condujo a una cierta competencia en los precios. Las compañías ferroviarias respondieron con acuerdos entre ellas que de hecho eliminaron la competencia e incrementaron las tarifas. Las protestas de los agricultores y otros usuarios de los ferrocarriles finalmente llevaron al establecimiento de la Interstate Commerce Commission (Comisión de Comercio Interestatal, ICC), la cual prohibió la política discriminatoria de precios y exigió a las compañías ferroviarias que registraran sus tarifas ante la ICC y las hicieran públicas. Las compañías ferrocarrileras respondieron con la formación de carteles para restringir la oferta. Esta situación condujo a la promulgación de la Ley Antimonopolios Sherman (*Sherman Antitrust Act*) en 1890. En respuesta a las dificultades financieras de los ferrocarriles en la década de 1940, el gobierno les permitió un cierto grado de coordinación y las exoneró de las regulaciones antimonopolio. Con el crecimiento de otros medios de transporte y la necesidad de revitalizar sus activos, los ferrocarriles se encontraban en mala situación financiera a principios de la década de 1970. La Ley Ferroviaria Staggers (*Staggers Rail Act*) de 1980 desreguló los ferrocarriles, lo que les permitió ciertas facultades para fijar sus tarifas, y facilitaba la entrada y salida. La ley también eliminó la inmunidad antimonopolio de los ferrocarriles. La desregulación en Estados Unidos fue seguida de una oleada de reorganización y fusiones dentro de la industria ferroviaria. En suma, la desregulación ha dado por resultado un mejor desempeño financiero de la industria ferroviaria y el uso incrementado del ferrocarril por parte de los expedidores.

Levinson (1998) proporciona un excelente análisis de la historia de la construcción de carreteras y fijación de precios. A finales del siglo XVIII se construyeron carreteras de peaje en Virginia, Maryland y Pennsylvania con fondos públicos, las que luego fueron devueltas a compañías privadas que cobraban cuotas. Con el tiempo se construyeron otras carreteras de peaje como resultado de la competencia entre las ciudades para obtener comercio. Aparte de la cesión de terrenos federales, estas carreteras se construyeron con el esfuerzo y el dinero locales. Las cuotas en estas carreteras en general se estructuraron para mantener gratis los viajes locales y hacer que la gente que viajaba a través de un área pagara por este derecho. Con el crecimiento de ferrocarriles y canales, las carreteras de peaje sufrieron financieramente a mediados del siglo XIX y finalmente se convirtieron en carreteras públicas. En el siglo XX conforme los medios de transporte cambiaban, hubo la necesidad de carreteras de mayor calidad. Se construyó una red de autopistas gratuitas, sobre todo con fondos provenientes de los impuestos a la gasolina. Al mismo tiempo, se construyeron otras instalaciones de cuota como túneles y puentes. En otros muchos otros países, como Francia y España, se

otorgaron concesiones a compañías privadas que recibían los ingresos generados por las cuotas. Recientemente también se han construido carreteras de peaje en Malasia, Indonesia y Tailandia.

Según estos ejemplos parece razonable que el gobierno sea el propietario o regulador de un activo de infraestructura de transporte monopólica. Cuando este activo tiene competencia, ya sea dentro de un medio o a través de todos los medios, la propiedad privada, la desregulación y la competencia parecen funcionar bien. La desregulación de la industria del transporte en Estados Unidas es un ejemplo de lo anterior. Sin embargo, hay que recordar que la mayoría de las carreteras, puertos y aeropuertos son públicos y no privados debido a la naturaleza inherentemente monopólica de estos activos de infraestructura de transporte. En estas circunstancias se justifica la propiedad pública de estos activos, lo cual plantea la cuestión política de financiar la construcción y mantenimiento de estos activos de transporte de propiedad pública. ¿Deben financiarse las carreteras con impuestos a la gasolina, o es más apropiada otra forma de financiamiento como las cuotas de peaje?

Algunos economistas han argumentado a favor de la propiedad pública de estos activos, con el establecimiento de precios de cuasimercado para mejorar la eficiencia. Los precios de cuasimercado deben considerar la discrepancia entre los incentivos de un individuo que utiliza la infraestructura de transporte y el público como un todo que posee la infraestructura. Esta discrepancia se ilustra en la figura 14-1 en el contexto de tráfico vehicular.

El conductor de un vehículo basa su decisión de utilizar una autopista en el costo *y* el beneficio de hacerlo. La figura 14-1 supone que cada persona valora de diferente manera hacer el viaje y que este valor está distribuido uniformemente a lo largo de un intervalo. El número de usuarios para los cuales el valor de un viaje excede un costo particular, está por tanto definido por la curva de la demanda. Suponemos una curva de demanda simple dada por el tráfico $f = 1{,}000 - costo$. Los costos en que incurre un conductor incluyen las cuotas, y el costo del tiempo que pasa en la autopista y el costo de operar y mantener el vehículo. Es bien sabido que el tiempo consumido se incrementa con el congestionamiento en una autopista. Por tanto, el costo promedio para cada conductor se incrementa con el flujo vehicular como se muestra en la figura 14-1. Comenzamos con el caso en que no hay cuotas y los conductores sólo incurren en costos relacionados con el congestionamiento, la operación y el mantenimiento. Suponemos que el costo total se incrementa con el tráfico f y está dado por el $costo\ total = 3f^2$. El costo promedio por conductor está dado por tanto por el $costo = 3f^2/f = 3f$. Como no hay cuotas para acceder a la autopista, la demanda se materializará con base en el costo promedio por congestionamiento, operación y mantenimiento incurrido por las personas en la autopista. Dado el valor que el viaje tiene para cada persona, el número de conductores que utilizan la carretera está determinado por la intersección de la curva de demanda con la curva de costo promedio en el punto A, como se muestra en la figura 14-1. Para nuestra curva de demanda, $f = 1{,}000 - costo$ y la función de costo promedio $costo = 3f$, obtenemos $f = 1{,}000 - costo = 1{,}000 - 3f$. Resolvemos esta ecuación para f, obtenemos $f = 1{,}000/4 = 250$ conductores en equilibrio. El resultado es un costo promedio para los conductores de $P_O = 3f = 3 \times 250 = 750$ y un flujo de tráfico de $Q_0 = f = 250$.

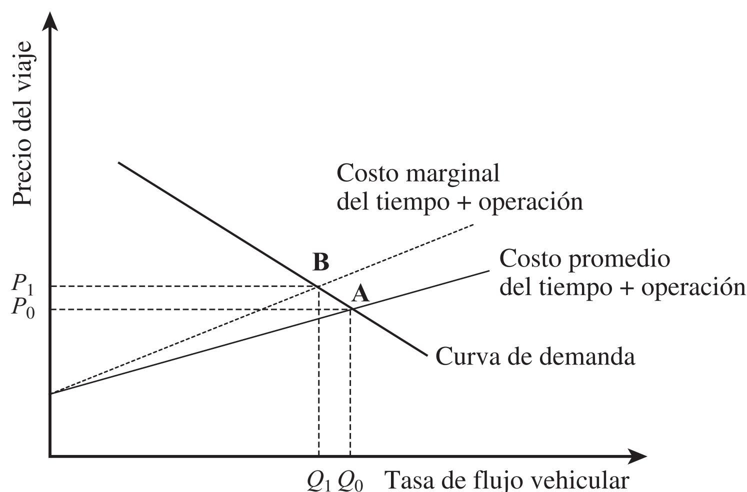


FIGURA 14-1 Efecto del costo promedio y marginal en el flujo vehicular.

Sin embargo, desde la perspectiva del público es más apropiado considerar cómo cada conductor adicional afecta el costo total, no sólo el costo promedio. Observe que un conductor adicional incrementa el costo promedio $3f$ en una cantidad pequeña pero aumenta el costo total $3f^2$ de todos los conductores en una cantidad mucho mayor. Esto se representa en la figura 13-1 mediante la curva del costo marginal, la cual mide el incremento marginal en el costo total como resultado del flujo de tránsito adicional. Para una curva de costo total *costo total* $= 3f^2$, el costo marginal se da al tomar la derivada *d(costo total)/df* $= 6f$. Observe que la curva del costo marginal $6f$ es más alta que la curva del costo promedio $3f$. En otras palabras, el efecto marginal de un conductor en el costo total es mucho más alto que su parte promedio del efecto. Idealmente debemos cobrar una cuota $3f$ por usar la autopista con base en este costo marginal que agregan al sistema. Si tuviéramos que hacerlo así en nuestro ejemplo (es decir, cobrar de alguna manera $3f$ como cuota adicional para incrementar el costo marginal total a $6f$), en nuestra curva de demanda obtenemos $f = 1{,}000 -$ *costo marginal* $= 1{,}000 - 6f$. Resolviendo esta ecuación para f, obtenemos un tráfico de equilibrio de $f = 1{,}000/7 = 143$ conductores. Los conductores deben pagar una cuota de $3f$ que depende de la cantidad de tráfico en la autopista. Si el tráfico está a un nivel por debajo de 143 conductores, los conductores pagan una cuota más baja. Al aumentar el tráfico la cuota se incrementa en proporción y este incremento de los costos hace que los conductores no usen la autopista. En el punto de equilibrio, hay $f = 143$ conductores en la autopista, cada uno paga una cuota relacionada con el congestionamiento de $3f = 3 \times 143 = 429$, y cada uno incurre en costos promedio relacionados con el congestionamiento de $3f = 429$ para un costo total de 830 por conductor. Con una cuota en vigor, pocos conductores utilizan la autopista ya que tienen que pagar el costo verdadero que ellos imponen a la autopista. Esta cuota reduce la tasa de flujo vehicular de $Q_0 = 250$ a $Q_1 = 143$ y reduce el costo de congestionamiento promedio por conductor de 750 a 429. En otras palabras, sin una cuota de congestionamiento el resultado es una sobreutilización de la infraestructura de transporte y un costo de congestionamiento más alto para todos los usuarios.

El problema se ilustra muy bien con un ejemplo sencillo dado por Vickrey (vea Button y Verhoef, 1998). Es probable que cada miembro de un grupo que sale a cenar pida un platillo caro si el plan es dividirse la cuenta en partes iguales en lugar de que cada persona pague su consumo. Por lo tanto, es justo decir que la cuenta total es más alta si se comparte por igual en comparación a cuando cada persona paga lo que realmente consumió. Lo mismo es cierto con la infraestructura de transporte si la fijación del precio no está ligada al congestionamiento.

Los precios de cuasimercado de la infraestructura de transporte resultan ser más altos en los lugares y horas pico, y más bajos en otras circunstancias. No es común observar tal estructura de fijación de precios en la infraestructura de transporte, excepto en las carreteras de Singapur y en algunas ciudades europeas. El congestionamiento es un factor importante factor en varios puertos y aeropuertos. Por ejemplo, el puerto de Long Beach en Los Ángeles experimentó un congestionamiento considerable en 2004. Varios factores lo afectaron, incluyendo los problemas de capacidad de los trenes que se llevaban los contenedores, la escasez de mano de obra y algunos problemas tecnológicos. Sin embargo, el congestionamiento también se vio afectado por el deseo de muchos expedidores de traer embarques cada semana desde Asia durante el fin de semana para garantizar el suministro durante toda la semana. Esto creó un tiempo pico con congestionamiento considerable. La carga pico de trabajo también llegó a ser exagerada en la medida que los barcos que transportaban los contenedores se hicieron más grandes. En tal situación el uso de cuotas pico para nivelar los arribos puede ser una política eficaz. En resumen, es importante tener presente que la infraestructura de transporte enfrenta problemas relacionados con el congestionamiento a menos que los usuarios se vean obligados a absorber el efecto marginal de sus acciones en la sociedad. Pudiera ser más efectivo cobrar una cuota de congestionamiento y utilizar el dinero generado para mejorar la eficacia de la infraestructura de transporte.

Punto clave

Las infraestructuras de transporte con frecuencia requieren que el gobierno sea el propietario o regulador por su naturaleza monopólica inherente. Sin un monopolio, la desregulación y las fuerzas del mercado ayudan a crear una estructura eficaz de la industria. Cuando la infraestructura es propiedad pública, es importante fijar un precio por el uso para reflejar el efecto marginal en el costo para la sociedad. Si esto no se lleva a cabo, el resultado será la sobreutilización y congestionamiento debido a que el costo pagado por el usuario es menor que su efecto marginal en el costo total.

14.4 OPCIONES DE DISEÑO PARA UNA RED DE TRANSPORTE

El diseño de una red de transporte afecta el desempeño de una cadena de suministro porque establece la infraestructura dentro de la cual se toman decisiones operacionales de transporte con respecto al horario y las rutas. Una red de transporte bien diseñada permite que una cadena de suministro alcance el grado deseado de capacidad de respuesta a un costo bajo. Tenemos que hacernos tres preguntas básicas al diseñar una red de transporte entre dos etapas de una cadena de suministro:

1. ¿Debe el transporte ser directo o través de un sitio intermedio?
2. ¿Debe el sitio intermedio almacenar producto o servir sólo como un lugar de reparto directo?
3. ¿Debe cada ruta de entrega suministrar a uno o a múltiples destinos (recorrido rutinario)?

Con base en las respuestas a estas preguntas, la cadena de suministro termina con varias redes de transporte. Analizamos estas opciones y sus fortalezas y debilidades en el contexto de un comprador con múltiples ubicaciones abastecidas por varios proveedores.

Red de embarque directo a un solo destino

Con la opción de red de embarque directo a un solo destino, el comprador estructura su red de transporte de manera que todos los embarques provenientes de cada proveedor lleguen directamente a cada ubicación del comprador, como se ilustra en la figura 14-2. Con esta opción se especifica la ruta de cada embarque y el gerente de la cadena de abastecimiento necesita decidir sólo la cantidad a embarcar y el medio de transpone a utilizar. Esta decisión implica una concesión entre los costos de transporte e inventario, como se analiza más adelante en el capítulo.

La ventaja primordial de una red de transporte de embarque directo es la eliminación de los almacenes intermedios y su simplicidad de operación y coordinación. La decisión con respecto al embarque es totalmente local y la decisión tomada para un embarque no afecta a los demás. El tiempo de transporte del proveedor al comprador es corto ya que cada embarque se va directo.

Una red de este tipo se justifica sólo si la demanda en las ubicaciones del comprador es suficientemente grande, de modo que los tamaños de lote de reabastecimiento se acerquen a una carga completa desde cada proveedor hacia cada lugar. Home Depot comenzó con una red de embarque directo, dado que la mayoría de las tiendas que abrió hasta cerca de 2002 eran tiendas grandes. Éstas pedían en cantidades que eran lo bastante grandes de modo que la colocación de pedidos se hacía localmente en la tienda y la entrega a la tienda llegaba directamente del proveedor. La red de embarque directo a un solo destino, sin embargo, resultó ser problemática ya que Home Depot comenzó a abrir tiendas más pequeñas que no recibían pedidos suficientemente grandes como para justificar un embarque directo

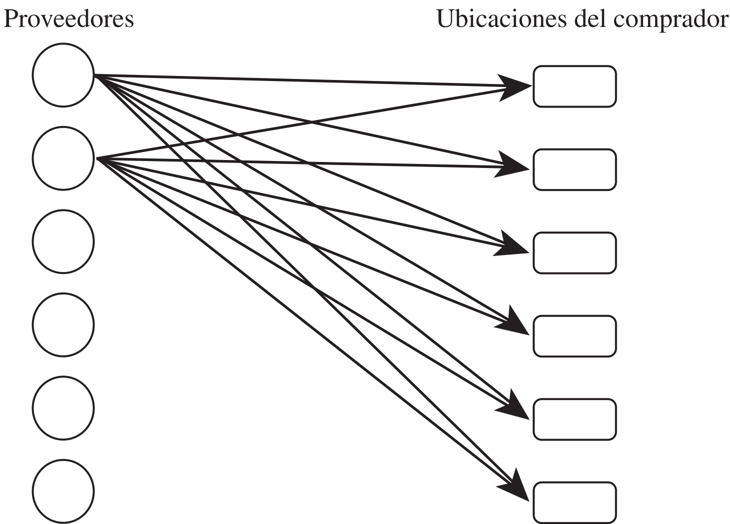


FIGURA 14-2 Red de embarque directo.

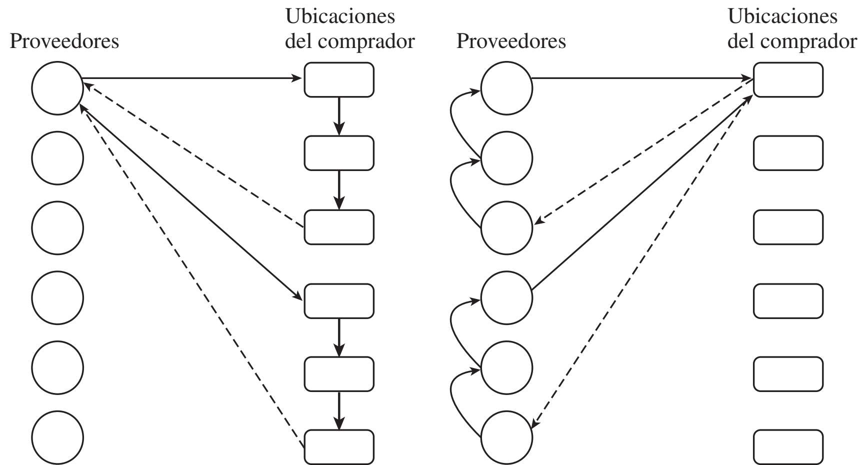


FIGURA 14-3 Recorridos rutinarios desde múltiples proveedores hacia múltiples ubicaciones del comprador.

Embarque directo con recorridos rutinarios

Un *recorrido rutinario* (*milk run*) es una ruta en la que un camión entrega el producto de un solo proveedor a múltiples detallistas, o va de múltiples proveedores a una sola ubicación del comprador, como se muestra en la figura 14-3. En el embarque directo con recorridos rutinarios, el proveedor entrega directamente a múltiples ubicaciones del comprador con un camión, o un camión recoge las entregas de muchos proveedores destinadas a la misma ubicación del comprador. Cuando utiliza esta opción, el gerente de una cadena tiene que decidir sobre la ruta de cada recorrido rutinario.

El embarque directo brinda el beneficio de eliminar los almacenes intermediarios, ya que los recorridos rutinarios reducen el costo de transporte al consolidar los embarques a múltiples ubicaciones en un solo camión. Los recorridos rutinarios parecen lógicos cuando la cantidad destinada a cada ubicación es demasiado pequeña para completar un camión, pero múltiples ubicaciones están cercanas entre sí de tal modo que su cantidad combinada completa el camión. Compañías como Frito-Lay que entregan directamente a las tiendas utilizan recorridos rutinarios para reducir su costo de transporte. Si se requieren entregas pequeñas frecuentes con regularidad y un grupo de proveedores o un grupo de detallistas están cerca unos de otros, el uso de recorridos rutinarios puede reducir considerablemente los costos de transporte. Por ejemplo, Toyota utiliza recorridos rutinarios de los proveedores para apoyar su sistema de fabricación justo a tiempo (JIT, *just-in-time*) tanto en Japón como en Estados Unidos. En Japón, Toyota cuenta con muchas plantas de ensamble cercanas entre sí y por tanto utiliza recorridos rutinarios desde un solo proveedor hacia muchas plantas. En Estados Unidos, sin embargo, Toyota utiliza recorridos rutinarios desde muchos proveedores hacia cada planta de ensamble dada la gran distancia entre las plantas de ensamble.

Todos los embarques vía un centro de distribución intermedio con almacenamiento

Con esta opción los proveedores envían el producto a un centro de distribución central donde se almacena hasta que los compradores requieren que se les envíe a cada una de sus ubicaciones, como se muestra en la figura 14-4. El almacenamiento del producto en una ubicación intermedia se justifica si las economías del transporte requieren grandes embarques por el lado de entrada, o si no se pueden coordinar los embarques por el lado de salida. En tal situación, el producto llega a un centro de distribución en grandes cantidades donde se mantiene en inventario y se envía a las ubicaciones del comprador es pequeños lotes de reabastecimiento cuando se requiere.

Con un centro de distribución, una cadena de suministro puede lograr economías de escala en el transporte de entrada a un punto cercano al destino final, ya que cada proveedor envía un embarque grande al centro de distribución que contiene producto para todas las ubicaciones que atiende. Debido que los centros de distribución atienden ubicaciones cercanas, el costo del transporte de salida no es muy grande. Por ejemplo, W.W. Grainger hace que sus proveedores envíen productos a uno de nueve centros de distribución (por lo regular en grandes cantidades), y cada centro de distribución a su vez reabastece a las tiendas cercanas con las pequeñas cantidades que requieren.

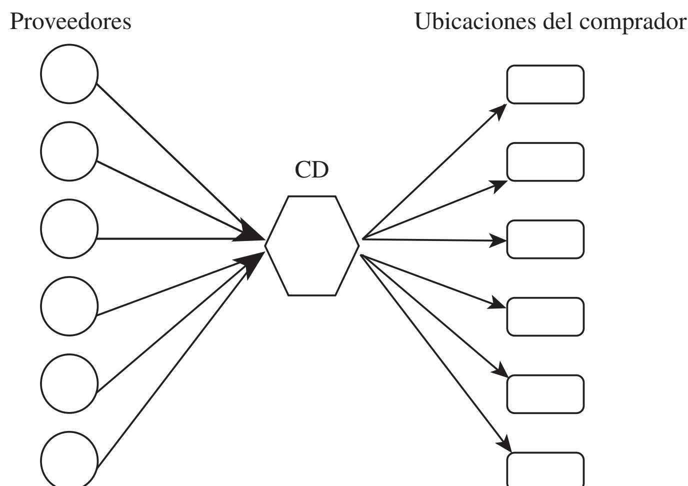


FIGURA 14-4 Todos los envíos vía un centro de distribución.

Sería costoso para los proveedores tratar de atender cada tienda de manera directa. Asimismo, cuando Home Depot es abastecido por un proveedor extranjero, el producto de mantiene en inventario en el centro de distribución ya que el tamaño del lote por el lado de entrada es mucho más grande que la suma de los tamaños de lote para las tiendas atendidas por el centro de distribución.

Todos los embarques vía un punto de tránsito intermedio con reparto directo

Con esta opción los proveedores despachan sus embarques a un punto de tránsito intermedio (podría ser un centro de distribución) donde se envían de inmediato a las ubicaciones del comprador sin almacenarlos. El flujo del producto es similar al que se muestra en la figura 14-4, sólo que no hay almacenamiento en la instalación intermedia. Cuando un centro de distribución embarca el producto sin almacenamiento intermedio, cada camión de entrada contiene el producto de varios proveedores para varias ubicaciones de un comprador, mientras que cada camión de salida contiene producto para la ubicación de un comprador enviado por varios proveedores. Los principales beneficios del reparto directo sin almacenamiento intermedio son que se requiere mantener poco inventario y el producto fluye más rápido en la cadena de suministro. El reparto directo también permite ahorrar en el costo de manejo ya que el producto no tiene que entrar a y salir del almacén. El reparto directo es apropiado cuando se pueden lograr economías de escala tanto por el lado de entrada como por el lado de salida y se pueden coordinar los embarques de salida.

Walmart ha utilizado el embarque directo con éxito para reducir los inventarios en la cadena de suministro sin incurrir en costos de transporte excesivos. Walmart construye muchas tiendas grandes en un área geográfica apoyada por un centro de distribución. Como resultado, el tamaño de lote total para todas las tiendas enviado por cada proveedor completa los camiones por el lado de entrada para lograr economías de escala. Por el lado de salida, la suma de todos los tamaños de lote enviados por todos los proveedores a cada tienda completa el camión para lograr economías de escala.

Otro buen ejemplo del uso de un punto de tránsito con reparto directo es el de Peapod en el área de Chicago. Peapod cuenta con un centro de distribución en el Lago Zurich desde el cual entrega a sus clientes mediante recorridos rutinarios. Este método demostró ser eficaz para clientes en los suburbios al norte y oeste de Chicago. Peapod, sin embargo, deseaba incrementar su cobertura a las ciudades de Chicago y Milwaukee. Ambas están bastante alejadas del centro de distribución del Lago Zurich y un recorrido rutinario requería cerca de dos horas en tránsito sin hacer entregas productivas. Estos mercados también eran demasiado pequeños y no justificaban un centro de distribución local. La respuesta de Peapod ha sido establecer una instalación de entrega directa (la cual tiende a ser más barata que un centro de distribución ya que no requiere almacenamiento) en cada lugar. Peapod envía entonces todos los embarques a la instalación de entrega directa local en un camión grande y utiliza camiones pequeños para las entregas locales. El uso de entrega directa vía un punto de tránsito ha permitido a Peapod aumentar el alcance del centro de distribución del Lago Zurich sin incrementar significativamente los gastos de transporte.

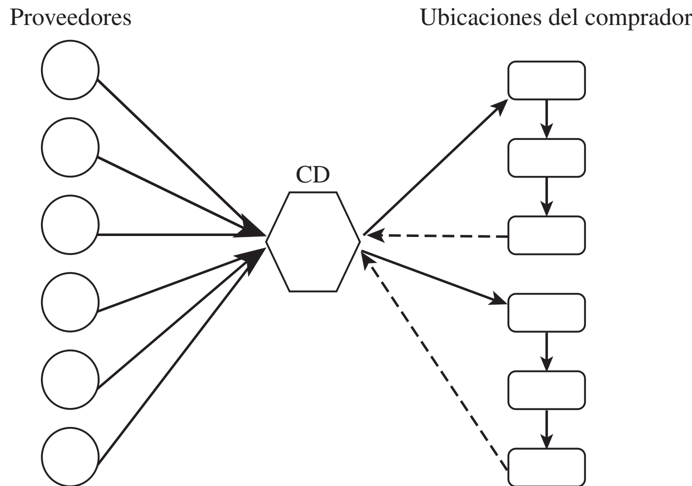


FIGURA 14-5 Recorridos rutinarios desde un centro de distribución (CD).

Embarque vía un centro de distribución utilizando recorridos rutinarios

Corno se muestra en la figura 14-5, los recorridos rutinarios pueden utilizarse desde un centro de distribución (CD) si los tamaños de lote que se entregarán en cada ubicación del comprador son pequeños. También reducen los costos del transporte saliente al consolidar embarques pequeños. Por ejemplo, Seven-Eleven Japan realiza entregas con reparto directo desde sus proveedores de alimentos frescos en sus centros de distribución y luego hace recorridos rutinarios de salida hacia sus tiendas detallistas, ya que el embarque total de los proveedores a una tienda no llena un camión. El uso del reparto directo y recorridos rutinarios permite a Seven-Eleven Japan disminuir su costo de transporte al enviar lotes pequeños de reabastecimiento a cada tienda. El uso del reparto directo con recorridos rutinarios requiere un grado significativo de coordinación, así como rutas y horarios adecuados.

Peapod, el supermercado en línea, utiliza recorridos rutinarios desde centros de distribución para realizar entregas a sus clientes y reducir así los costos de transporte de los embarques pequeños que se entregan a domicilio. OshKosh B'Gosh, un fabricante de ropa para niños, ha utilizado esta idea para eliminar prácticamente todos los embarques de carga consolidada (LTL) desde su CD en Tennessee a las tiendas detallistas.

Red adaptada

La opción de red adaptada es una combinación apropiada de las opciones anteriores que reduce el costo y mejora la capacidad de respuesta de la cadena de suministro. En este caso el transporte utiliza una combinación de reparto directo, recorridos rutinarios, TL y LTL junto con transportistas de paquetería en algunos casos. El objetivo es utilizar la opción adecuada en cada situación. Los productos de alta demanda pueden enviarse de manera directa a las tiendas de alta demanda mientras que los productos de baja demanda o los embarques a tiendas de baja demanda pueden consolidarse desde y hacia el CD. La complejidad de administrar esta red de transporte es alta debido a los diferentes procedimientos de embarque que se utilizan-para cada producto y tienda detallista. Operar una red a la medida requiere una inversión significativa en infraestructura de la información para facilitar la coordinación. Tal red, sin embargo, permite el uso selectivo del método de embarque para minimizar los costos de transporte y también los de inventario.

La tabla 14-2 resume las ventajas y desventajas de las varias opciones de red de transporte. En el ejemplo 14-1 ilustramos algunas de estas opciones.

EJEMPLO 14-1 Selección de una red de transporte

Una cadena detallista cuenta con ocho tiendas en una región abastecida desde cuatro fuentes de suministro. La capacidad de los camiones es de 40,000 unidades y el costo por carga es de $1,000 más $100 por entrega. Por tanto, un camión que hace dos entregas cobra $1,200. El costo de retención de una unidad en el inventario en una tienda detallista es de $0.20 al año.

Tabla 14-2 Ventajas y desventajas de diferentes redes de transporte

Estructura de la red	Ventajas	Desventajas
Embarque directo	Sin almacenamiento intermedio Simple de coordinar	Altos inventarios (debido al gran tamaño de lote) Gasto de recepción significativo
Embarque directo con recorridos rutinarios	Bajos costos de transporte de lotes pequeños Bajos inventarios	Complejidad de coordinación incrementada
Todos los embarques vía un CD central con almacenamiento de inventario	Bajo costo del transporte entrante gracias a la consolidación	Costo de inventario incrementado Manejo incrementado en el CD
Todos los embarques vía un CD central con reparto directo	Bajo requerimiento de inventario Bajo costo de transporte gracias a la consolidación	Complejidad de coordinación incrementada
Embarque vía un CD, con recorridos rutinarios	Bajo costo del transporte saliente de lotes pequeños	Incremento extra en la complejidad de la coordinación
Red adaptada	Opción de transporte que se ajusta mejor a las necesidades de un producto y tienda individuales	Extrema complejidad en la coordinación

El vicepresidente de una cadena de suministro está considerando si utilizar embarque directo desde los proveedores hacia las tiendas detallistas o establecer recorridos rutinarios desde los proveedores hacia las tiendas. ¿Qué red recomienda si las ventas anuales de cada producto en cada tienda son de 960,000 unidades? ¿Qué red recomienda si las ventas de cada producto en cada tienda son de 120,000 unidades?

Análisis:

Proporcionamos un análisis detallado cuando las ventas anuales de cada producto en cada tienda son de 960,000 unidades. Nuestro análisis supone que los camiones viajan llenos. Se puede realizar un análisis más complejo en el cual la carga óptima en cada camión se calcula y utiliza en el análisis.

Primero analizamos la red de embarque directo y suponemos que se enviarán camiones completos desde los proveedores hacia las tiendas detallistas. En este caso, tenemos lo siguiente:

Tamaño de lote enviado desde cada proveedor hacia cada tienda = 40,000 unidades

Número de embarques/años desde cada proveedor hacia cada tienda = 960,000/40,000 = 24

Costo de transporte anual de una red directa = $24 \times 1{,}100 \times 4 \times 8$ = \$844,800

Inventario promedio en cada tienda de cada producto = 40,000/2 = 20,000 unidades

Costo del inventario anual de una red directa = $20{,}000 \times 0.2 \times 4 \times 8$ = \$128,000

Costo anual total de una red directa = \$844,800 + \$128,000 = \$972,800

A continuación analizamos la red en la que los proveedores realizan recorridos rutinarios a las tiendas minoristas. Éstos incrementan el costo de transporte pero reducen el nivel de inventario que cada tienda tiene que mantener. Proporcionamos un análisis detallado de cuando los proveedores realizan recorridos rutinarios a dos tiendas con cada camión. En este caso tenemos lo siguiente:

Tamaño de lote embarcado desde cada proveedor hacia cada tienda = 40,000/2 = 20,000 unidades

Número de envíos por año desde cada proveedor hacia cada tienda = 960,000/20,000 = 48

Costo de transporte por envío por tienda (dos tiendas/camión) = 1,000/2 + 100 = \$600

Costo de transporte anual de la red de recorridos rutinarios = $48 \times 600 \times 4 \times 8$ = \$921,600

Inventario promedio en cada tienda de cada producto = 20,000/2 = 10,000 unidades

Costo de inventario anual de la red directa = $10{,}000 \times 0.2 \times 4 \times 8$ = \$64,000

Costo anual total de la red directa = \$921,600 + \$64,000 = \$985,600

Este análisis muestra que cuando la demanda por producto por tienda es de 960,000 unidades, la red directa es menos costosa que los recorridos rutinarios con dos tiendas por ruta. Incrementar el número de tiendas en un recorrido rutinario termina costando aún más ya que eleva los costos de transporte más de lo que se ahorra en los costos de retención.

Cuando la demanda por producto por tienda es de 120,000, primero proporcionamos los costos detallados para la red de envíos directos como sigue (suponiendo que todos los camiones viajan llenos):

Tamaño de lote desde cada proveedor hacia cada tienda = 40,000 unidades

Número de envíos /año desde cada proveedor hacia cada tienda = 120,000/40,000 = 3

Costo de transporte anual para la red directa = $3 \times 1{,}100 \times 4 \times 8$ = \$105,600

Inventario promedio en cada tienda de cada producto = 40,000/2 = 20,000 unidades

Costos de inventario anual para la red directa = $20{,}000 \times 0.2 \times 4 \times 8$ = \$128,000

Costo anual total de la red directa = \$105,600 + \$128,000 = \$233,600

Para la red directa resulta que es mejor no llenar cada camión sino enviar sólo 36,332 unidades por camión para minimizar los costos anuales totales. La carga óptima incrementa un poco los costos de transporte pero reduce los costos totales a \$232,524 por año.

A continuación analizamos la red en la que los proveedores utilizan recorridos rutinarios a las tiendas detallistas. Proporcionamos un análisis detallado del caso en que los proveedores realizan recorridos rutinarios a cuatro tiendas con cada camión y cada camión viaja lleno. En este caso tenemos lo siguiente:

Tamaño de lote embarcado desde cada proveedor hacia cada tienda = 40,000/4 = 10,000 unidades

Número de envíos/año desde cada proveedor hacia cada tienda = 120,000/10,000 = 12

Costo de transporte por envío por tienda (cuatro tiendas/camión) = 1,000/4 + 100 = \$350

Costo de transporte anual para la red con recorridos rutinarios = $12 \times 350 \times 4 \times 8$ = \$134,400

Inventario promedio en cada tienda de cada producto = 10,000/2 = 5,000 unidades

Costo de inventario anual para la red directa = $5{,}000 \times 0.2 \times 4 \times 8$ = \$32,000

Costo total anual de la red directa = \$134,400 + \$32,000 = \$166,400

Este análisis muestra que cuando la demanda por producto por tienda es de 120,000 unidades, la red con recorridos rutinarios con cuatro tiendas por ruta es menos costosa que la red directa (aun cuando las cargas de camión se optimicen). La red directa termina costando más debido a los costos de retención de inventario incrementados aun cuando el transporte es más barato. Observemos que los recorridos rutinarios se vuelven más atractivos conforme la cantidad que fluye a través del sistema se reduce. En la siguiente sección analizamos varios trueques (concesiones) que los gerentes de una cadena de suministro deben considerar al diseñar y operar una red de transporte.

14.5 TRUEQUES (CONCESIONES) EN EL DISEÑO DEL TRANSPORTE

Todas las decisiones de transporte tomadas por los expedidores en una red de la cadena de suministro deben considerar su efecto en los costos de inventario y en los costos de la instalación y procesamiento, el costo de coordinar las operaciones, y el nivel de capacidad de respuesta a los clientes. Por ejemplo, Amazon emplea transportistas de paquetería para entregar productos a los clientes, lo que le incrementa el costo de transporte pero le permite centralizar sus instalaciones y reducir los costos de inventario. Si Amazon desea reducir sus costos de transporte debe sacrificar la capacidad de respuesta a los clientes o aumentar el número de instalaciones y los inventarios resultantes para acercarse a los clientes. El costo de coordinar las operaciones es difícil de cuantificar. Los expedidores deben evaluar diferentes opciones de transporte en términos de los diversos costos e ingresos y luego clasificarlos según la complejidad de la coordinación. Un gerente puede entonces tomar la decisión correcta en relación con el transporte. Los gerentes deben considerar las siguientes concesiones al tomar decisiones de transporte:

- Concesión entre los costos de transporte e inventario
- Concesión entre el costo de transporte y la capacidad de respuesta al cliente

Concesión entre los costos de transporte e inventario

La concesión entre los costos de transporte e inventario es significativa cuando se diseña una red de cadena de suministro. Dos decisiones fundamentales en relación con la cadena de suministro que implican esta concesión son:

- La elección del medio de transporte
- La agregación del inventario

ELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSPORTE La selección del medio de transporte es una decisión tanto de planeación como operacional en una cadena de suministro. La decisión con respecto a los transportistas que una compañía contrata es una decisión de planeación, mientras que la elección del medio de transporte para un envío particular es una decisión operacional. Para ambas decisiones, un expedidor debe balancear los costos de inventario y transporte. El medio de transporte que da por resultado el menor costo de transporte no necesariamente reduce los costos totales de una cadena de suministro. Los medios de transporte menos costosos suelen tener tiempos de espera más largos y mayores cantidades de envíos mínimos, y ambos dan por resultado niveles de inventario más altos en la cadena de suministro. Los medios que permiten enviar pequeñas cantidades reducen los niveles de inventario pero tienden a ser más costosos. Apple, por ejemplo, envía por avión varios de sus productos desde Asia. Esta opción no puede justificarse con base en el transporte solo. Se puede justificar sólo debido a que el uso del medio de transporte más rápido de enviar componentes valiosos permite a Apple mantener bajos niveles de inventario y seguir manteniendo su capacidad de respuesta a sus clientes.

El efecto de usar diferentes medios de transporte en términos de inventario, tiempo de respuesta y costos en la cadena de suministro se muestra en la tabla 14-3. Cada medio de transporte se clasifica con respecto a varias dimensiones, con 1 como el peor y 6 como el mejor.

Los medios de transporte rápidos se prefieren para productos con una alta razón de valor a peso (un iPad es un buen ejemplo de tales productos) para los cuales la reducción de los inventarios es importante, mientras que los medios más baratos se prefieren para productos con una pequeña razón de valor a peso (por ejemplo, muebles importados por IKEA) para los cuales la reducción del costo de transporte es importante. La elección del medio de transporte se debe tomar teniendo en cuenta el ciclo, la seguridad y los costos del inventario en tránsito además del costo del transporte. También debe incluirse el precio de compra si cambia con la elección del medio de transporte (quizás debido a un cambio de los tamaños de lote). Ignorar los costos de inventario cuando se toman decisiones de transporte puede dar por resultado opciones que empeoran el desempeño de una cadena de suministro, como se ilustra en el ejemplo 14-2.

EJEMPLO 14-2 Concesiones cuando se selecciona un medio de transporte

Eastern Electric (EE) es un importante fabricante de electrodomésticos con una gran planta en el área de Chicago. EE le compra a Westview Motors, localizada cerca de Dallas, todos los motores para sus aparatos. Actualmente, EE le compra 120,000 motores Westview cada año a un precio de $120 por motor.

Tabla 14-3 Clasificación de medios de transporte en términos de desempeño de la cadena de suministro (1: Peor, 6: Mejor)

Medio	Inventario de ciclo	Inventario de seguridad	Costo en tránsito	Tiempo de transporte	Costo de transporte
Ferrocarril	5	5	5	2	5
TL	4	4	4	3	3
LTL	3	3	3	4	4
Paquetería	1	1	1	6	1
Aéreo	2	2	2	5	2
Acuático	6	6	6	1	6

La demanda se ha mantenido relativamente constante durante varios años y se espera que continúe así. Cada motor pesa en promedio 10 libras y EE tradicionalmente compra lotes de 3,004 motores. Westview envía cada pedido de EE al día siguiente de recibirlo (tiempo de espera de un día más el tiempo en tránsito). En su planta de ensamble, EE mantiene un inventario de seguridad igual a 50% de la demanda promedio de motores durante el tiempo de espera de la entrega.

El gerente de la planta de EE ha recibido varias propuestas para el transporte y debe decidir cuál aceptar. En la tabla 14-4 se muestran los detalles de varias propuestas donde una cwt es igual a 100 libras.

El precio de Golden representa un descuento por cantidad unitaria marginal (vea el capítulo 11). El representante de Golden ha propuesto disminuir la tasa marginal para la cantidad de más de 250 cwt en un envío de \$4/cwt a \$3/cwt y sugirió que EE incremente du tamaño de lote a 4,000 motores para aprovechar el bajo costo de transporte. ¿Qué debe hacer el gerente de la planta?

Análisis:

La nueva propuesta de Golden dará como resultado costos de transporte muy bajos para EE, si el gerente de la planta pide lotes de 400 motores. El gerente, sin embargo, decide incluir los costos de inventario en la decisión de transporte. El costo anual de EE de retener el inventario es de 25%, lo que implica un costo anual de retención del inventario de $H = \$120 \times 025 = \$30$ por motor. Los envíos por ferrocarril requieren cinco días en tránsito, mientras que los envíos en embarques por camión requieren 3 días en tránsito. La decisión sobre el transporte afecta el inventario de ciclo, el inventario de seguridad y el inventario en tránsito de EE. Por consiguiente, el gerente decide evaluar el costo total de transporte e inventario para cada opción de transporte.

La propuesta de AM Rail requiera un envío mínimo de 20,000 libras o 2,000 motores. El tiempo de espera de reabastecimiento en este caso es de $L = 5 + 1 = 6$ días. Para un tamaño de lote de $Q = 2{,}000$ motores, el gerente obtiene lo siguiente:

$$\text{Inventario de ciclo} = Q/2 = 2{,}000/2 = 1{,}000 \text{ motores}$$

$$\text{Inventario de seguridad} = L/2 \text{ días de demanda} = (6/2)(120{,}000/365)$$

$$= 986 \text{ motores}$$

$$\text{Inventario en tránsito} = 120{,}000(5/365) = 1{,}644 \text{ motores}$$

$$\text{Inventario promedio total} = 1{,}000 + 986 + 1{,}644 = 3{,}630 \text{ motores}$$

$$\text{Costo de retención anual utilizando AM Rail} = 3{,}630 \times \$30 = \$108{,}900$$

AM Rail cobra \$6.50 por cwt, lo que da por resultado un costo de transporte de \$0.65 por motor debido a que cada motor pesa 10 libras. En este caso aproximamos el costo de retención ya que no incluimos el costo de transporte en el costo del producto. Una evaluación más precisa establecería en costo de retención del inventario en tránsito en \$30 (ya que aún no se ha incurrido en el costo de transporte) el costo de retención del inventario de ciclo y seguridad como $120.65 \times 0.25 = \$30.16$ ya que esta etapa aún no ha incurrido en el costo de transporte. La evaluación precisa daría por resultado un costo de retención de inventario de $1{,}644 \times 30 + 1{,}986 \times 30.16 = \$109{,}218$. El costo anual de transporte se obtiene como sigue:

$$\text{Costo anual de transporte utilizando AM Rail} = 120{,}000 \text{ k } 0.65 = \$78.000$$

Tabla 14-4 Propuestas de transporte para EE Electric

Transportista	Rango de la cantidad enviada (cwt)	Costo de envío (\$/cwt)
AM Railroad	200+	6.50
Northeast Trucking	100+	7.50
Golden Freightways	50−150	8.00
Golden Freightways	150−250	6.00
Golden Freightways	250+	4.00

Tabla 14-5 Análisis de opciones de transporte para Eastern Electric

Alternativa	Tamaño de lote (motores)	Costo de envío ($/cwt)	Inventario de ciclo	Inventario de seguridad	Inventario en tránsito	Costo de inventario	Costo total
AM Rail	2,000	$78,000	1,000	986	1,644	$108,900	$186,900
Northeast	1,000	$90,000	500	658	986	$64,320	$154,320
Golden	500	$96,000	250	658	986	$56,820	$152,820
Golden	1,500	$96,000	750	658	986	$71,820	$167,820
Golden	2,500	$86,400	1,250	658	986	$86,820	$173,220
Golden	3,000	$80,000	1,500	658	986	$94,320	$174,320
Golden (propuesta anterior)	4,000	$72,000	2,000	658	986	$109,320	$181,320
Golden (propuesta nueva)	4,000	$67,500	2,000	658	986	$109,320	$176,820

El costo total anual de inventario y transporte utilizando a AM Rail es por tanto de $186,900.

Entonces el gerente de la planta evalúa el costo asociado con cada opción de transporte, como se muestra en la tabla 14-5 (utilizamos el costo de inventario aproximado en este análisis, aplicando el costo de retención sólo al costo unitario y no el costo unitario más el costo de transporte/unidad). Basado en el análisis que aparece en la tabla 14-5 (los números del inventario están redondeados al entero más cercano), el gerente decide firmar un contrato con Golden Freightways y ordenar los motores en lotes de 500. Esta opción tiene el costo de transporte más alto pero el costo total más bajo. Si la selección se hubiera hecho tomando en cuenta sólo el costo de transporte en el que se incurre, la nueva propuesta de Golden que disminuye el precio de grandes envíos hubiera parecido atractiva. En realidad, EE paga un alto costo global por esta propuesta por el alto costo resultante. Por lo tanto, considerando la concesión entre los costos de inventario y transporte el gerente puede decidir un medio de transporte que minimice el costo total de EE.

Punto clave

Cuando seleccionan un medio de transporte, los gerentes deben considerar los costos unitarios y los costos de inventarios de ciclo, de seguridad y de inventario en tránsito que resultan de utilizar cada medio. Los medios con un alto costo de transporte se pueden justificar si dan por resultado costos de inventario significativamente bajos.

AGREGACIÓN DEL INVENTARIO Las compañías pueden reducir significativamente el inventario de seguridad que requieren si agregan físicamente los inventarios en un lugar (vea el capítulo 12). La mayoría de los negocios en línea utilizan esta técnica para obtener ventaja sobre compañías con instalaciones en muchos lugares. Por ejemplo, Amazon se ha enfocado en reducir sus costos de instalaciones e inventario al mantener inventario en algunos almacenes, mientras que librerías como Barnes & Noble tienen que mantener inventario en muchas tiendas detallistas.

Sin embargo, en general, el costo de transporte se incrementa cuando se agrega el inventario. Si los inventarios están altamente desagregados, algo de agregación también puede reducir los costos de transporte. Más allá de este punto, sin embargo, la agregación de los inventarios eleva los costos de transporte totales. Consideremos una cadena de librerías como Barnes & Noble. El costo de transporte entrante de Barnes & Noble se debe al reabastecimiento de las librerías con nuevos libros.

No hay costo de transporte saliente, ya que los clientes se llevan sus libros a casa. Si Barnes & Noble decide cerrar todas sus librerías y vender sólo en línea, tendrá que incurrir en costos de transporte

entrante y saliente. El costo de transporte entrante a los almacenes será más bajo que a todas las librerías. Sin embargo, el costo de transporte saliente se incrementará significativamente debido a que el envío saliente para cada cliente será pequeño y requerirá un medio caro como un transportista de paquetería. El costo total de transporte se incrementará con la agregación, ya que cada libro viaja la misma distancia que cuando se vendía en la librería, excepto que una gran fracción de la distancia corresponde al lado saliente que utiliza un medio de transporte caro. Conforme el grado de agregación de inventario se incrementa, el *costo* total de transporte también se eleva. Otra comparación se encuentra en el negocio de renta de videos entre Netflix y Redbox. El primero agrega sus inventarios, lo que reduce los gastos de instalaciones e inventario. Sin embargo, tiene que pagar por el envío de DVDs entre sus centros de distribución y las casas de los clientes. Redbox, por el contrario, cuenta con muchas máquinas vendedoras que contienen DVDs e incurren en bajos costos de transporte. Por tanto, todas las empresas que planifican agregar el inventario deben considerar las concesiones entre los costos de transporte, inventario e instalación cuando tomen esta decisión.

La agregación del inventario es una buena idea cuando los costos de inventario e instalación constituyen una gran fracción de los costos totales de la cadena de suministro. La agregación de inventario es útil para productos con una gran razón de valor a peso y para productos con alta incertidumbre en la demanda. Por ejemplo, la agregación de inventario es valiosa para productos nuevos en la industria de las computadoras personales, ya que éstas tienen una gran razón de valor a peso y la demanda de productos nuevos es incierta. También es una buena idea si los pedidos del cliente son lo bastante grandes para garantizar suficientes economías de escala en el transporte saliente. Cuando los productos tienen una baja razón de valor a peso los pedidos del cliente son pequeños; sin embargo, la agregación del inventario puede perjudicar el desempeño de la cadena de suministro debido a los altos costos de transporte. Comparado con las computadoras personales, el valor de la agregación del inventario es pequeño en el caso de libros que son éxito en ventas que tienen una baja razón de valor a peso y una demanda más predecible.

En el ejemplo 14-3 ilustramos la concesión implicada en la toma de decisiones de agregación.

EJEMPLO 14-3 Concesiones cuando se agrega el inventario

HighMed, un fabricante de equipo médico para procedimientos del corazón, se ubica en Madison, Wisconsin, y los cardiólogos utilizan sus productos en todo Estados Unidos. El equipo médico no se vende a través de agentes de compras sino directamente a los médicos. Actualmente, HighMed divide Estados Unidos en 24 territorios, cada uno con su propio equipo de vendedores. Todos los inventarios de producto se mantienen localmente y se reabastecen desde Madison cada cuatro semanas por medio de UPS. El tiempo de espera de reabastecimiento es de una semana. UPS cobra una tarifa de $\$0.66 + 0.26x$, donde x es la cantidad enviada en libras. Los productos vendidos se clasifican en dos categorías: HighVal y LowVal. Los primeros pesan 0.1 libras y cuestan $200 cada uno; los segundos pesan 0.04 libras y cuestan $30 cada uno.

La demanda semanal de productos HighVal en cada territorio está distribuida de manera normal, con una media de $\mu_H = 2$ y una desviación estándar de $\sigma_H = 5$. La demanda semanal de productos Lowval en cada territorio está normalmente distribuida, con una media de μ_L y una desviación estándar $\sigma_L = 5$ HighMed mantiene suficientes inventarios de seguridad en cada territorio para proporcionar un *CSL* de 0.997 para cada producto. El costo de retención del inventario en HighMed es de 25 por ciento.

Además del método actual, el equipo de administración de HighMed está considerando otras dos opciones:

Opción A. Mantener la estructura actual pero reabastecer el inventario una vez a la semana en lugar de una vez cada cuatro semanas.

Opción B. Eliminar los inventarios en los territorios, agregar todos los inventarios en un almacén de productos terminados en Madison, y reabastecerlo una vez por semana.

Si se agregan los inventarios en Madison, los pedidos se enviarán por FedEx, que cobra $\$5.53 + 0.53x$ por envío, donde x es la cantidad enviada en libras. La fábrica requiere un tiempo de espera de una semana

para reabastecer los inventarios de productos terminados en el almacén de Madison. El pedido promedio de un cliente es de 1 unidad de HighVal y 10 unidades de LowVal. ¿Qué debe hacer HighMed?

Análisis:

HighMed puede reducir el costo de transporte agregando la cantidad enviada en una ocasión ya que los precios tanto de UPS como de FedEx muestran economías de escala. Cuando se compara la Opción A con el sistema actual, el equipo de administración debe decidir entre los ahorros en el costo de transporte gracias al reabastecimiento menos frecuente y los ahorros en los costos del inventario con reabastecimiento más frecuente. Al considerar la Opción B el equipo de administración debe decidir entre incrementar el costo de transporte con la agregación de los inventarios y el uso de un transportista más rápido pero más caro (FedEx) y la reducción del costo del inventario.

El equipo de administración primero analiza la situación actual. Para cada territorio,

Tiempo de espera de reabastecimiento, $L = 1$ semana

Intervalo para reordenar, $T = 4$ semanas

$CSL = 0.997$

1. ***Costos de inventario de HighMed (escenario actual):*** Para HighVal en cada territorio, el equipo de administración obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
\text{Tamaño de lote promedio, } Q_H &= \text{demanda esperada durante } T \text{ semanas} \\
&= T\mu_H = 4 \times 2 = 8 \text{ unidades} \\
\text{Inventario de seguridad, } ss_H &= F^{-1}(CSL) \times \sigma_{T+L} = F^{-1}(CSL) \times \sqrt{T + L} \times \sigma_H \\
&= F^{-1}(0.997) \times \sqrt{4 + 1} \times 5 = 30.7 \text{ unidades (vea la ecuación 12.18)} \\
\text{Inventario total de High Val} &= Q_H/2 + ss_H = (8/2) + 30.7 = 34.7 \text{ unidades}
\end{aligned}$$

En los 24 territorios, HighMed mantiene por tanto un inventario de High Val de $24 \times 34.7 = 832.8$ unidades (el número real es 833.3 unidades si no redondeamos los valores del inventario al primer decimal). Para LowVal en cada territorio, el equipo de administración obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
\text{Tamaño de lote promedio, } Q_L &= \text{demanda esperada durante } T \text{ semanas} = T\mu_L = 4 \times 20 = 80 \text{ unidades} \\
\text{Inventario de seguridad, } ss_L &= F^{-1}(CSL) \times \sigma_{T+L} = F^{-1}(CSL) \times \sqrt{T + L} \times \sigma_L \\
&= F^{-1}(0.997) \times \sqrt{4 + 1} \times 5 = 30.7 \text{ unidades} \\
\text{Inventario total de Low Val} &= Q_L/2 + ss_L = (80/2) + 30.7 = 70.7 \text{ unidades}
\end{aligned}$$

En los 24 territorios, HighMed mantiene por tanto un inventario de Low Val $= 24 \times 70.7 = 1696.8$ unidades (el número verdadero es 1697.3 si no redondeamos el inventario de seguridad al primer decimal).

El equipo de administración obtiene por tanto lo siguiente:

$$\begin{aligned}
\text{Costo de retención anual del inventario para HighMed} &= (\text{inventario promedio de HighVal} \times \$200 \\
&\quad + \text{inventario promedio de LowVal} \times \$30) \times 0.25 \\
&= (832.8 \times \$200 + 1696.8 \times \$30) \times 0.25 \\
&= \$54{,}366 \ (\$54{,}395 \text{ sin redondeo})
\end{aligned}$$

2. ***Costo de transporte de HighMed*** **(*escenario actual*):** El pedido de reabastecimiento promedio de cada territorio consta de Q_H unidades de HighVal y Q_L unidades de LowVal. Por tanto

$$\begin{aligned}
&\text{Peso promedio de cada pedido de reabastecimiento} \\
&= 0.1Q_H + 0.04Q_L = 0.1 \times 8 + 0.04 \times 80 = 4 \text{ libras} \\
&\text{Costo de envío por cada pedido de reabastecimiento} \\
&= \$0.66 + 0.26 \times 4 = \$1.70
\end{aligned}$$

Cada territorio hace 13 pedidos de reabastecimiento por año y hay 24 territorios. Por tanto,

$$\text{Costo de transporte anual} = \$1.70 \times 13 \times 24 = \$530$$

3. *Costo total de HighMed (escenario actual):* Costo anual de inventario y transporte en HighMed = costo de inventario + costo de transporte = \$54,366 + \$530 = \$54,896 (\$54,926 sin redondeo).

El equipo de administración de HighMed evalúa los costos de la Opción A y Opción B del mismo modo, y los resultados se resumen en la tabla 14-6. Los resultados se reportan sin redondeo y se pueden obtener con la hoja de cálculo *Tabla 14-6* asociada.

En la tabla 14-6 observamos que el incremento de la frecuencia de reabastecimiento bajo la Opción A reduce el costo total en HighMed. El aumento de los costos de transporte es mucho menor que la reducción de los costos de inventario resultante de lotes más pequeños. HighMed es capaz de reducir el costo total aún más agregando todos los inventarios y utilizando a FedEx como transporte, debido a que la reducción de los inventarios con la agregación es mayor que el incremento de los costos de transporte.

El valor de la agregación se ve afectado por los costos de transporte, la incertidumbre de la demanda, el costo de retención y el tamaño de los pedidos del cliente. Si los costos de transporte de HighMed se duplicaran, la Opción A descentralizada llega ser más barata que la opción B centralizada (en este escenario la opción A cuesta \$32,109 mientras que la opción B cuesta \$37,402). Conforme el costo de transporte se incrementa, llega ser más barato descentralizar los inventarios aun cuando sus costos se incrementen.

Si la incertidumbre de la demanda se reduce (por ejemplo, si la desviación estándar de la demanda semanal de HighVal se reduce de 5 a 2), la opción A descentralizada de nueva cuenta llega a ser más barata que la opción B centralizada. Conforme la incertidumbre de la demanda se reduce, se vuelve más barato descentralizar los inventarios.

Si el costo de retención se reduce (por ejemplo, si se reduce de 25% a 12.5%) la opción A descentralizada una vez más llega a ser más barata que la opción B centralizada. Conforme el valor del producto o el costo de retención se reduce llegar a ser más barato descentralizar los inventarios.

Si los tamaños de los pedidos del cliente son pequeños, el incremento del costo de transporte por la agregación puede ser significativo, y la agregación del inventario puede incrementar los costos totales. Reconsideremos el caso de HighMed, pero ahora cada pedido del cliente promedia 0.5 HighVal y 5 LowVal (la mitad del tamaño previamente considerado). Los costos con la opción actual y también la opción A no

Tabla 14-6 Costos de HighMed con diferentes opciones de red

	Escenario actual	Opción A	Opción B
Número de ubicaciones de almacenamiento	24	24	1
Intervalo de reabastecimiento	4 semanas	1 semana	1 semana
Inventario de ciclo de HighVal	96 unidades	24 unidades	24 unidades
Inventario de seguridad de HighVal	737.3 unidades	466.3 unidades	95.2 unidades
Inventario de HighVal	833.3 unidades	490.3 unidades	119.2 unidades
Inventario de ciclo de LowVal	960 unidades	240 unidades	240 unidades
Inventario de seguridad de LowVal	737.3 unidades	466.3 unidades	95.2 unidades
Inventario de LowVal	1,697.3 unidades	706.3 unidades	335.2 unidades
Costo anual de inventario	\$54,395	\$29,813	\$8,473
Tipo de envío	Reabastecimiento	Reabastecimiento	Pedido del cliente
Tamaño del envío	8 HighVal + 80 LowVal	2 HighVal + 20 LowVal	1 HighVal + 10 LowVal
Peso del envío	4 lbs.	1 lb.	0.5 lb.
Costo anual de transporte	\$530	\$1,148	\$14,464
Costo anual total	\$54, 926	\$30,961	\$22,938

cambian debido a que HighMed no paga transporte de salida e incurre sólo en el costo de transporte por los pedidos de reabastecimiento con ambas opciones. La opción B, sin embargo, se vuelve más cara porque los costos del transporte de salida se incrementan con una reducción del tamaño del pedido del cliente. Con pedidos pequeños del cliente, los costos con la opción B son los siguientes:

$$\text{Peso promedio de cada pedido del cliente} = 0.1 \times 0.5 + 0.04 \times 5 = 0.25 \text{ libras}$$
$$\text{Costo de envío por pedido del cliente} = \$5.53 + 0.53 \times 0.25 = \$5.66$$
$$\text{Número de pedidos del cliente por territorio por semana} = 4$$
$$\text{Total de pedidos de los clientes por año} = 4 \times 24 \times 52 = 4{,}992$$
$$\text{Costo anual de transporte} = 4{,}992 \times \$5.66 = \$28{,}255 \text{ (\$28,267 sin redondeo)}$$
$$\text{Costo anual total} = \text{costo de inventario} + \text{costo de transporte}$$
$$= \$8{,}474 + \$28{,}255 = \$36{,}729 \text{ (\$36,740 sin redondeo)}$$

Por tanto, con pedidos pequeños de los clientes, la agregación del inventario ya no es la opción de menor costo para HighMed debido al gran incremento de los costos de transporte. Es mejor para la compañía mantener el inventario en cada territorio y usar la opción A, la cual produce un menor costo total.

Las lecciones del ejemplo 14-3 (y también del capítulo 12) con respecto a la agregación del inventario se resumen en la tabla 14-7.

Punto clave

Las decisiones de agregación del inventario deben tener en cuenta los costos de inventario y transporte. La agregación de inventario reduce los costos de la cadena de suministro si el producto tiene una alta razón de valor a peso, una alta incertidumbre de la demanda, un bajo costo de transporte y los pedidos de los clientes son grandes. Si un producto tiene una baja razón de valor a peso, una baja incertidumbre de la demanda, un gran costo de transporte o pedidos pequeños de los clientes, la agregación del inventario puede incrementar los costos de la cadena de suministro.

Concesión entre el costo de transporte y la capacidad de respuesta ante el cliente

El costo de transporte en que incurre una cadena de suministro está estrechamente ligado al grado de capacidad de respuesta que la cadena pretende proporcionar. Si la capacidad de respuesta de una empresa es alta y envía todos los pedidos al día siguiente de recibirlos, los envíos de salida serán pequeños y el resultado es un alto costo de transporte. Si reduce su capacidad de respuesta y agrega los pedidos durante un horizonte de tiempo más largo antes de enviarlos, será capaz de explotar las economías de escala e incurrir un costo de transporte más bajo debido a los envíos grandes. La *agregación temporal* es el proceso de combinar pedidos a lo largo del tiempo. La agregación temporal reduce la capacidad de respuesta de una compañía debido al retraso de los envíos pero también reduce los costos de transporte debido a las economías de escala que resultan de los envíos grandes. Por consiguiente, una compañía primero debe considerar la concesión entre la capacidad de respuesta y el costo de transporte cuando diseña su red de transporte, como se ilustra en el ejemplo 14-4.

Tabla 14-7 Condiciones que favorecen la agregación o desagregación

	Agregado	**Desagregado**
Costo de transporte	Bajo	Alto
Incertidumbre de la demanda	Alto	Baja
Costo de retención	Alto	Bajo
Tamaño del pedido del cliente	Grande	Pequeño

EJEMPLO 14-4 Concesión entre el costo de transporte y la capacidad de respuesta

Alloy Steel es un centro de servicio acerero en el área de Cleveland. Todos los pedidos se envían a los clientes mediante un LTL que cobra $100 + 0.01x$, donde x es el número de libras de acero enviadas en el camión. Alloy Steel envía los pedidos el mismo día que los recibe. Con dos días en tránsito, esta política le permite a Alloy lograr un tiempo de respuesta de dos días. La demanda diaria en Alloy Steel durante un periodo de dos semanas se muestra en la tabla 14-8.

El gerente general de Alloy Steel cree que los clientes en realidad no valoran el tiempo de respuesta de dos días y que se sentirían satisfechos con una respuesta de cuatro días. ¿Cuáles son las ventajas de incrementar el tiempo de respuesta?

Análisis:

Conforme aumenta el tiempo de respuesta, Alloy Steel tiene la oportunidad de agregar la demanda durante dos días sucesivos antes de realizar el envío. Para un tiempo de respuesta de cuatro días, Alloy Steel puede agregar la demanda durante tres días antes de realizar el envío. El gerente evalúa la cantidad enviada y los costos de transporte con diferentes tiempos de respuesta durante el periodo de dos semanas, como se muestra en la tabla 14-9.

En la tabla 14-9, observamos que el costo de transporte de Alloy Steel se reduce conforme el tiempo de respuesta se incrementa. El beneficio de la consolidación temporal, sin embargo, se reduce con rapidez al incrementarse el tiempo de respuesta. Conforme el tiempo de respuesta se incrementa de dos a tres días, el costo de transporte durante la ventana de dos semanas se reduce en $700. El incremento del tiempo de respuesta de tres a cuatro días reduce el costo de transporte en sólo $200. Por tanto, sería mejor que Alloy Steel ofreciera un tiempo de respuesta de tres días, ya que el beneficio marginal de incrementar aún más el tiempo de respuesta es pequeño.

En general, una cantidad limitada de agregación temporal puede ser eficaz al reducir el costo de transporte en una cadena de suministro. Al escoger el tiempo de respuesta, sin embargo, las compañías deben decidir entre la reducción del costo de transporte con la agregación temporal o la pérdida del ingreso debido a una deficiente capacidad de respuesta. La consolidación temporal también mejora el desempeño del transporte debido a que da por resultado envíos más estables. Por ejemplo, en la tabla 14-9, cuando Alloy Steel despacha envíos diarios, el coeficiente de variación es 0.44, mientras que la agregación temporal durante tres días (lograda con un tiempo de respuesta de cuatro días) tiene un coeficiente de variación de sólo 0.16. Los envíos más estables que tanto el expedidor como el transportista planeen mejor las operaciones y mejoren la utilización de sus activos.

Punto clave

La agregación temporal de la demanda reduce los costos de transporte ya que conlleva envíos más grandes y también reduce la variación de los tamaños de los envíos de un envío al siguiente. Sin embargo, afecta el tiempo de respuesta al cliente. El beneficio marginal de la agregación temporal declina conforme se incrementa la ventana de tiempo durante la cual tiene lugar la agregación.

En la siguiente sección analizamos cómo se pueden adaptar las redes de transporte para abastecer clientes con necesidades diferentes.

Tabla 14-8 Demanda diaria en Alloy Steel durante un periodo de dos semanas

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Semana 1	19,970	17,470	11,316	26,192	20,263	8,381	25,377
Semana 2	39,171	2,158	20,633	23,370	24,100	19,603	18,442

Tabla 14-9 Cantidad enviada y costo de transporte en función del tiempo de respuesta

		Respuesta de dos días		Respuesta de tres días		Respuesta de cuatro días	
Día	Demanda	Cantidad enviada	Costo ($)	Cantidad enviada	Costo ($)	Cantidad enviada	Costo ($)
1	19,970	19,970	299.70	0	—	0	—
2	17,470	17,470	274.70	37,440	474.40	0	—
3	11,316	11,316	213.16	0	—	48,756	587.56
4	26,192	26,192	361.92	37,508	475.08	0	—
5	20,263	20,263	302.63	0	—	0	—
6	8,381	8,381	183.81	28,644	386.44	54,836	648.36
7	25,377	25,377	353.77	0	—	0	—
8	39,171	39,171	491.71	64,548	745.48	0	—
9	2,158	2,158	121.58	0	—	66,706	767.06
10	20,633	20,633	306.33	22,791	327.91	0	—
11	23,370	23,370	333.70	0	—	0	—
12	24,100	24,100	341.00	47,470	574.70	68,103	781.03
13	19,603	19,603	296.03	0	—	0	—
14	18,442	18,442	284.42	38,045	480.45	38,045	480.45
			$4,164.46		3,464.46		3,264.46

14.6 TRANSPORTE ADAPTADO

El *transporte adaptado* es el uso de diferentes redes y medios de transporte basado en las características del producto o cliente. La mayoría de las compañías venden una variedad de productos y atienden a muchos segmentos de clientes diferentes. W.W. Grainger vende más de 200,000 productos MRO tanto a pequeños contratistas como a grandes empresas. Los productos varían en tamaño y valor, y los clientes varían en la cantidad comprada, la capacidad de respuesta requerida, la incertidumbre de los pedidos, y la distancia a las sucursales y centros de distribución de W.W. Grainger. Dadas estas diferencias, una compañía como W.W. Grainger no debe diseñar una red de transporte común para satisfacer todas las necesidades. Una compañía puede satisfacer las necesidades de los clientes a un bajo costo utilizando transporte adaptado para proporcionar la elección del transporte adecuado con base en las características del cliente y producto. En las secciones siguientes describimos varias formas de transporte adaptado en cadenas de suministro.

Transporte adaptado según la densidad y distancia al cliente

Las empresas deben considerar la densidad y distancia del cliente al almacén al diseñar redes de transporte. Las opciones de transporte ideales basadas en la densidad y distancia se muestran en la tabla 14-10.

Cuando una empresa atiende una alta densidad de clientes cercanos al centro de distribución, a menudo es mejor para la compañía poseer una flotilla de camiones que se utilicen para recorridos rutinarios que se originen en el centro de distribución para abastecer a los clientes debido a que este escenario hace un buen uso de los vehículos y permite el contacto con el cliente. Si la densidad de clientes es alta pero la distancia al almacén es grande, no vale la pena realizar recorridos rutinarios con origen en el almacén ya que los camiones vacíos recorrerán una larga distancia en el viaje de regreso. En tal situación es mejor utilizar un transportista público con grandes camiones para transportar los envíos a un centro de entregas directas cercano al área de los clientes, donde los envíos se cargan en camiones más pequeños que entregan el producto a los clientes mediante recorridos rutinarios. En este caso quizá lo ideal sea que una empresa no tenga su propia flotilla. Conforme la densidad de clientes se reduce, el uso de un transportista de LTL o de un tercero que realice recorridos rutinarios es más económico ya que el transportista tercero puede agregar envíos de muchas compañías.

Tabla 14-10 Opciones de transporte basadas en la densidad de clientes y distancia

	Distancia corta	Distancia media	Distancia larga
Alta densidad	Flotilla privada con recorridos rutinarios	Reparto directo con recorridos rutinarios	Reparto directo con recorridos rutinarios
Densidad media	Recorridos rutinarios por parte de terceros	Transportista LTL	Transportista LTL o de paquetería
Baja densidad	Recorridos rutinarios por parte de terceros o transportista LTL	Transportista LTL o de paquetería	Transportista de paquetería

Si una empresa desea atender un área con una baja densidad de clientes alejados del almacén, incluso los transportistas LTL pueden no ser factibles y el uso de transportistas de paquetería puede ser la mejor opción en tanto las cargas sean pequeñas. Boise Cascade Office Products, un distribuidor industrial de artículos para oficina, ha diseñado una red de transporte consistente con la sugerencia dada en la tabla 14-10.

La densidad de los clientes y la distancia también deben considerarse cuando una compañía decide el grado de agregación temporal (la cual afecta el tiempo de respuesta) a utilizar cuando abastece a los clientes. Las empresas deben atender áreas con alta densidad de clientes con más frecuencia debido a que es probable que éstas proporcionen suficientes economías de escala en el transporte, lo que hace que la agregación temporal sea menos valiosa. Para bajar los costos de transporte las empresas deben utilizar un grado más alto de agregación temporal y buscar una capacidad de respuesta un poco más baja cuando atiendan áreas con una baja densidad de clientes.

Transporte adaptado según el tamaño del cliente

Las compañías deben considerar el tamaño y ubicación del cliente cuando diseñan redes de transporte. A los clientes grandes los puede abastecer un transportista TL, en tanto que los pequeños requerirán un transportista LTL o recorridos rutinarios. Al utilizar recorridos rutinarios, un expedidor incurre en dos tipos de costos:

- Costo de transporte basado en la distancia total de la ruta
- Costo de entrega basado en la cantidad de entregas

El costo de transporte es el mismo independientemente de si el cliente es grande o pequeño. Si se tiene que hacer una entrega a un cliente grande y se incluyen otros clientes pequeños en el mismo camión, se puede ahorrar en el costo de transporte. Sin embargo, para cada cliente pequeño el costo de entrega por unidad es más alto que para clientes grandes. Por tanto, no es óptimo entregar a clientes pequeños y grandes con la misma frecuencia al mismo precio. Una opción de las compañías es cobrar un costo de entrega más alto a los clientes pequeños. Otra es adaptar los recorridos rutinarios de modo que visiten a grandes clientes con más frecuencia que a los clientes pequeños. Las empresas pueden dividir a los clientes en grandes (L), medianos (M) y pequeños (S) con base en la demanda de cada uno. La frecuencia óptima de visitas se puede evaluar con base en los costos de transporte y entrega (vea la sección 11.2). Si se tiene que visitar a los clientes grandes en cada recorrido rutinario, los medianos cada dos recorridos y los clientes de baja demanda cada tres, se pueden diseñar recorridos rutinarios adecuados combinando clientes grandes, medianos y pequeños en cada recorrido. Los clientes medianos se dividirían en dos subconjuntos (M_1 y M_2), y los pequeños en tres subconjuntos (S_1, S_2, S_3). La empresa puede secuenciar los siguientes seis recorridos rutinarios para garantizar que cada cliente sea visitado con la frecuencia apropiada (L, M_1, S_1), (L, M_2, S_2), (L, M_1, S_3), (L, M_2, S_1), (L, M_1, S_2), (L, M_2, S_3). Esta secuencia adaptada tiene la ventaja de que cada camión transporta aproximadamente la misma carga y los clientes grandes reciben entregas más frecuentes que los pequeños, según sus costos de entrega relativos.

Transporte adaptado según la demanda y valor del producto

El grado de agregación del inventario y los medios de transporte utilizados en una red de cadena de suministro debe variar con la demanda y el valor del producto, como se muestra en la tabla 14-11. El inventario de ciclo de productos de alto valor con alta demanda se desagrega para ahorrar en los costos de transporte, ya que esto permite que los pedidos de reabastecimiento se transporten a un menor costo. El inventario de

Tabla 14-11 Estrategias de agregación basadas en el valor y la demanda

Tipo de producto	Valor alto	Valor bajo
Alta demanda	Desagregar el inventario de ciclo. Agregar el inventario de seguridad. Medio de transporte no caro para reabastecer el inventario de ciclo y un medio rápido cuando utiliza el inventario de seguridad	Desagregar todos los inventarios y utilizar un medio de transporte no caro para el reabastecimiento
Baja demanda	Agregar todos los inventarios; si se requiere, utilizar un medio de transporte rápido para surtir los pedidos de los clientes	Agregar sólo el inventario de seguridad. Utilizar un medio de transporte no caro para reabastecer el inventario de ciclo

seguridad de tales productos se puede agregar para reducir los inventarios (vea el capítulo 12), y se puede usar un medio de transporte rápido si se requiere que el inventario de seguridad satisfaga la demanda del cliente. Para productos de alta demanda de valor bajo, todos los inventarios deben desagregarse y mantenerse cerca del cliente para reducir los costos de transporte. Para productos de baja demanda y valor alto, todos los inventarios deben agregarse para ahorrar en los costos de inventario. Para productos de baja demanda y valor bajo, los inventarios de ciclo pueden mantenerse cerca del cliente y los de seguridad agregarse para reducir los costos de transporte al mismo tiempo que se aprovecha la agregación. Los inventarios de ciclo se reabastecen por medio de un medio de transporte barato para ahorrar en los costos.

Punto clave

La adaptación del transporte con base en la densidad y distancia de los clientes, el tamaño del cliente, o la demanda y el valor del producto permite a una cadena de suministro lograr una capacidad de respuesta apropiada y un bajo costo.

14.7 ROL DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN EN EL TRANSPORTE

La complejidad y escala del transporte hacen que sea un área excelente dentro de la cadena de suministro para el uso de sistemas de tecnología de la información. El uso de software para determinar rutas de transporte ha sido la aplicación más común de la tecnología de la información en el transporte. Este software considera la ubicación de los clientes, el tamaño del envío, los tiempos de entrega deseados, la información sobre la infraestructura de transporte (como distancias entre puntos) y la capacidad del vehículo como datos de entrada. Estos datos se formulan como problemas de optimización cuya solución es un conjunto de rutas y una lista de paquetes para cada vehículo que minimicen los costos al mismo tiempo que satisfagan las restricciones de entrega.

Junto con la ruta, el software de optimización de la carga de un vehículo ayuda a mejorar la utilización de la flotilla. Teniendo en cuenta el tamaño del contenedor y el tamaño y secuencia de cada entrega, este software desarrolla un plan para cargar el vehículo con eficiencia al mismo tiempo que permite descargarlo y/o cargarlo con facilidad a lo largo de la ruta. La sincronización entre el software de empacado y la localización de rutas es importante porque la cantidad empacada en un camión afecta la ruta mientras que ésta obviamente afecta lo que se empacó en un camión.

La TI también interviene en el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) para rastrear en tiempo real la ubicación de los vehículos y enviar notificaciones electrónicas de las entregas pendientes. La disponibilidad de la información existente también permite la optimización dinámica en tiempo real de las rutas de transporte y entregas. Las notificaciones electrónicas y el rastreo mejoran el servicio al cliente y el estado de preparación en toda la cadena de suministro.

La Internet también se ha utilizado por compañías como Freightzone y Echo Global Logistics para ayudar a igualar la carga del expedidor con la capacidad disponible de los transportistas en la industria del transporte de carga.

Los problemas más comunes en el uso de la tecnología de la información en el transporte se relacionan con la colaboración entre empresas y la visión limitada de algunos software de transporte. Dado que

con frecuencia el transporte se subcontrata, la colaboración exitosa en el transporte requiere que tres o más compañías trabajen juntas, lo que la hace mucho más difícil. Surgen otros problemas debido a que una gran parte del software de transporte está enfocada en rutas eficientes. El software a menudo pasa por alto otros factores como el servicio al cliente y los tiempos de entrega prometidos, los cuales deben restringir la ruta seleccionada.

La TI en el transporte hace mucho que se utiliza y hay un gran número de vendedores de software para cadena de suministro. También ha habido una gran cantidad de desarrollo que se ha enfocado en la administración del transporte.

14.8 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN EL TRANSPORTE

Hay que considerar tres tipos principales de riesgo cuando se transporta un envío entre dos nodos de la red:

1. Riesgo de que el envío se retrase.
2. Riesgo de que el envío no llegue a su destino debido a que fuerzas externas alteran los nodos o enlaces intermedios.
3. Riesgo de material peligroso.

En cada caso es importante identificar los orígenes del riesgo y sus consecuencias y planear estrategias de mitigación adecuadas.

El retraso surge debido al congestionamiento a lo largo de enlaces tales como caminos o nodos tales como puertos y aeropuertos. Cuando el congestionamiento es la causa del retraso, las estrategias de mitigación del expedidor incluyen acercar los inventarios al destino, utilizar carriles alternativos y construir un amortiguador en el tiempo de espera. Los retrasos por congestionamiento pueden mitigarse al diseñar una red con múltiples rutas hacia el destino y cambiando rutas en tiempo real con base en el congestionamiento. También se puede mitigar mediante la aplicación de fijación de precios de congestionamiento por parte del propietario del nodo o enlace de transporte. El retraso también puede surgir debido a la disponibilidad limitada del transporte o la capacidad de la infraestructura. Tales retrasos son más probables cuando los activos son propiedad de un tercero que atiende a múltiples clientes. Estos retrasos pueden mitigarse obteniendo una parte de la capacidad de transporte o firmando contratos en el largo plazo por la capacidad de transporte con el tercero. Dado el alto costo de ser propietario de estos activos, es mejor hacerlo así en partes de la red donde la utilización es alta.

La interrupción en los enlaces o nodos de transporte puede ocurrir a causa de fenómenos naturales como huracanes o acontecimientos provocados por el hombre como el terrorismo. La mejor estrategia de mitigación en este caso es diseñar rutas alternativas en la red de transporte. Por ejemplo, el terremoto y tsunami de 2011 en Japón interrumpió el flujo de producto en muchas cadenas de suministro. A consecuencia del terremoto, Toyota anunció el retraso de dos nuevas adiciones a la línea Prius, una vagoneta y una minivan. Compañías como UPS y FedEx ayudaron a los clientes a diseñar rutas alternativas si hubiera otras fábricas a las que pudieran mudar la producción. Asimismo, durante la huelga de estibadores de California en 2002, muchas compañías buscaron puertos alternos para traer el producto.

Cuando consideramos tanto el riesgo de retraso como el de interrupción, es importante identificar fuentes que probablemente estén correlacionadas a través de la red. Por ejemplo, los acontecimientos del 11 de septiembre de 2001 interrumpieron el transporte aéreo a través de todo Estados Unidos. Las rutas alternas fueron inútiles como estrategias de mitigación en este caso porque no había rutas alternativas disponibles. Para semejantes fuentes de riesgo correlacionadas, la única opción es reducir la probabilidad de la interrupción.

El material peligroso puede ser nocivo cuando se exponen las personas y el ambiente. El objetivo de la mitigación del riesgo en este caso es minimizar la probabilidad de exposición, y en caso de que ocurra minimizar el efecto. Las estrategias de mitigación incluyen el uso de contenedores modificados y medios de transporte de bajo riesgo, la selección de rutas de rutas con baja probabilidad de accidentes o con población o exposición ambiental reducida, y la modificación de las propiedades físicas o químicas del material transportado para hacerlo menos peligroso.

14.9 TOMA DE DECISIONES DE TRANSPORTE EN LA PRÁCTICA

1. ***Alinear la estrategia de transporte con la estrategia competitiva.*** Los gerentes deben asegurarse de la estrategia de transporte de una empresa apoye su estrategia competitiva. Deben diseñar incentivos funcionales que ayuden a alcanzar este objetivo. Históricamente, la función de transporte dentro de las empresas se ha evaluado con base en el grado a que puede reducir los costos de transporte. Tal enfoque conduce a decisiones que reducen los costos de transporte pero que merman el nivel de la capacidad de respuesta a los clientes y puede elevar el costo total de la empresa. Si el despachador en un CD es evaluado exclusivamente con base en el grado al cual se cargan los camiones, es probable que retrase los envíos y afecte la capacidad de respuesta al cliente para lograr una carga más grande. Las empresas deben evaluar la función de transporte con base en el costo total y el nivel de capacidad de respuesta logrado con los clientes.

2. ***Considerar el transporte interno y el subcontratado.*** Los gerentes deben considerar una combinación apropiada de transporte propiedad de la compañía y transporte subcontratado para satisfacer sus necesidades. Esta decisión debe basarse en la habilidad de una compañía de manejar el transporte rentablemente así como también la importancia estratégica del transporte para el éxito de la compañía. En general, la subcontratación es la mejor opción cuando los envíos son pequeños, mientras que poseer la flotilla de transporte es mejor cuando los envíos son grandes y la capacidad de respuesta es importante. Por ejemplo, Walmart utiliza transporte con capacidad de respuesta para reducir los inventarios en su cadena de suministro. Dada la importancia del transporte para el éxito de su estrategia, ella misma posee y maneja su flotilla de transporte. Esto se facilita por el hecho de que utiliza bien sus activos de transporte debido a que la mayoría de sus envíos son grandes. En contraste, compañías como W.W. Grainger y McMaster-Carr envían embarques pequeños a los clientes porque la clave de su éxito está en la administración del inventario y no en el transporte. Un tercer transportista les puede reducir los costos al agregar sus envíos con los de otras compañías. Como resultado, ambas compañías utilizan transportistas terceros para su transporte.

3. ***Usar tecnología para mejorar el desempeño del transporte.*** Los gerentes deben usar tecnología de la información para reducir costos y mejorar la capacidad de respuesta en sus redes de transporte. El software ayuda a los gerentes a planificar el transporte, a seleccionar el medio y a construir rutas y horarios de entrega. El rastreo en tiempo real permite a los transportistas comunicarse con cada vehículo e identificar su ubicación y contenido precisos. Estas tecnologías ayudan a los transportistas a reducir costos y responder con rapidez a los cambios.

4. ***Diseñar flexibilidad en la red de transporte.*** En el diseño de redes de transporte, los gerentes deben tener en cuenta la incertidumbre de la demanda y también la disponibilidad del transporte. Ignorar la incertidumbre alienta un mayor uso de medios de transporte caros e inflexibles que funcionan bien cuando todo marcha como se planeó. Tales redes, sin embargo, funcionan mal cuando cambian los planes. Cuando los gerentes tienen en cuenta la incertidumbre, es más probable que incluyan medios de transporte flexibles, pero más costosos, en su red. Aunque estos medios pueden ser más caros para un envío particular, su inclusión en las opciones de transporte permite a una compañía reducir el costo total de proporcionar un alto nivel de capacidad de respuesta.

14.10 RESUMEN

1. ***Entender el rol del transporte en una cadena de suministro.*** El transporte se refiere al movimiento de un producto de un lugar a otro dentro de una cadena de suministro. La importancia del transporte se ha incrementado con la creciente globalización en las cadenas de suministro y el incremento de las ventas en línea, ya que ambas tendencias aumentan la distancia que viajan los productos. Las decisiones de transporte afectan la rentabilidad de la cadena de suministro e influyen en las decisiones de inventario e instalaciones dentro de una cadena de suministro.

2. ***Evaluar las fortalezas y debilidades de los diferentes medios de transporte.*** Entre los diversos medios de transporte están los acuáticos, el ferrocarril, el intermodal, los aéreos, por ductos y los transportistas de paquetería. El acuático en general es el medio menos caro pero también es el más lento, en tanto que el aéreo y los transportistas de paquetería son los más caros y los más rápidos. El ferrocarril y el acuático son más

adecuados para envíos grandes de bajo valor que no necesitan moverse con rapidez. El aéreo y los transportistas de paquetería son los más adecuados para envíos pequeños urgentes de alto valor. El medio intermodal y los transportistas de carga completa (TL) son más rápidos que el ferrocarril y el acuático pero un poco más caros. Los transportistas de carga consolidada (LTL) son más adecuados para envíos pequeños que son demasiado grandes para transportistas de paquetería pero mucho más pequeños que una carga completa (TL).

3. *Analizar el rol de la infraestructura y las políticas en el transporte.* La infraestructura como puertos, carreteras y aeropuertos, tiene un efecto importante en el transporte. Dada su inherente naturaleza monopólica, la mayor parte de la infraestructura de transporte requiere la propiedad o regulación pública. En el caso de la propiedad pública, la fijación de precios basada en el costo promedio lleva a la sobreutilización y al congestionamiento. Es importante utilizar alguna forma de fijación precios de congestionamiento bajo la cual los usuarios se vean obligados a internalizar el incremento del costo de la red que provocan.

4. *Identificar las fortalezas y debilidades relativas de las diversas opciones de diseño de una red de transporte.* Las redes se diseñan para enviar directamente desde origen hasta el destino o mover el producto a través de un punto de consolidación. Los envíos directos son más eficaces cuando se tienen que mover grandes cantidades. Cuando los envíos son pequeños, el uso de un almacén o centro de distribución intermedio reduce el costo del transporte al agregar envíos pequeños aun cuando se tarda más y es más complejo. Los envíos también se pueden consolidar con recorridos rutinarios o recolectándolos de múltiples lugares o entregándolos en múltiples lugares.

5. *Identificar las concesiones que los transportistas deben considerar al diseñar una red de transporte.* Al diseñar redes de transporte los expedidores deben considerar las concesiones entre el costo de transporte, costo de inventario, costo de operación y capacidad de respuesta al cliente. El objetivo de la cadena de suministro es minimizar el costo total al mismo tiempo que proporcionar el nivel deseado de capacidad de respuesta a los clientes.

Preguntas para debate

1. ¿Qué medios de transporte son más adecuados para envíos grandes de bajo valor? ¿Por qué?
2. ¿Por qué es importante tener en cuenta el congestionamiento cuando se fija el precio del uso de la infraestructura de transporte?
3. Walmart diseña sus redes de modo que un centro de distribución apoye a varias grandes tiendas detallistas. Explique cómo puede usar la compañía tal red para reducir los costos de transporte al mismo tiempo que reabastece los inventarios con frecuencia.
4. Compare los costos de transporte de un negocio en línea como Amazon y de un detallista como Home Depot cuando venden materiales para mejora del hogar.
5. ¿Qué desafíos de transporte enfrenta el supermercado en línea Peapod? Compare los costos de transporte de los supermercados en línea y las cadenas de supermercados.
6. ¿Espera que la agregación del inventario en un lugar sea más eficaz cuando una compañía como Dell vende computadoras o cuando una compañía como Amazon vende libros? Explique considerando los costos de transporte e inventario.
7. Analice los elementos clave que se pueden usar para adaptar el transporte. ¿Cómo ayuda la adaptación?

Ejercicios

1. Una planta eléctrica en California utiliza carbón a razón de 100,000 libras por día. También utiliza material MRO *(Maintenance, Repair, and Operations)* a razón de 1,000 libras cada día. El carbón viene de Wyoming y el material MRO de Chicago. El carbón cuesta $0.01 por libra, mientras que el material MRO cuesta $10 por libra, en promedio. Los costos de retención de inventario en la planta eléctrica son de 25%. Las opciones de transporte disponibles son las siguientes:

Ferrocarril
Tiempo de espera = 15 días
Carga máxima (100,000 libras) a $400 por carga
Tren completo (70 vagones) a $15,000 por tren

Camión de carga
Tiempo de espera = 4 días
Costo mínimo = $100
Hasta 10,000 libras a $0.08 por libra
Entre 10,000 y 20,000 libras a $0.07 por libra por toda la carga
Entre 25,000 y 40,000 a $0.06 por libras por libra por toda la carga
TL pequeña (40,000 libras) a $2,000
TL grande (60,000 libras) a $2,600

Los inventarios de seguridad de carbón y materiales MRO se mantienen al doble del consumo durante el tiempo de espera de suministro. ¿Qué medio de transporte recomienda durante el tiempo de espera de suministro? ¿Qué medio de transporte recomienda para cada uno de los dos productos? ¿Por qué?

2. Books-On-Line, una librería en línea, hace a sus clientes un cargo por envío de $4 por el primer libro y $1 por cada libro adicional. El pedido promedio de un cliente es de cuatro libros. Books-On-Line cuenta con un almacén en Seattle y envía todos los pedidos desde allí. Para propósitos de transporte, Books-On-Line, divide a Estados Unidos en tres zonas, Oeste, Central y Este. El costo de envío incurrido por Books-On-Line por pedido de un cliente (promedio de cuatro libros) es $2 dentro de la misma zona, y de $3 entre zonas adyacentes y de $4 entre zonas no adyacentes.

La demanda semanal de cada zona es independiente y está distribuida normalmente, con una media de 50,000 y una desviación estándar de 25,000. Cada libro cuesta en promedio $10, y el costo de retención de Books-On-Line es de 25%. Books-On-Line reabastece el inventario cada semana y busca un CSL de 99.7%. Suponga un tiempo de espera de reabastecimiento de una semana.

Un almacén está diseñado para mantener 50% más que el pedido de reabastecimiento + existencias de seguridad. El costo fijo de un almacén es de $200,000 + x donde x es su capacidad en libros. El costo de operación semanal de un almacén es de $0.01 y, donde y es el número de libros enviados. Books-On-Line está planeando su estrategia de red. ¿Qué zonas deben contar con almacenes? Detalle todos los costos implicados.

3. Un fabricante europeo de muebles industriales cuenta con una fábrica localizada en Munich y cuatro almacenes en Europa Occidental. Los almacenes recopilan los pedidos de los clientes, que luego se envían desde la fábrica. Al recibirlos, el almacén distribuye los pedidos de los clientes mediante camiones pequeños. La demanda diaria en cada uno de los cuatro almacenes junto con la distancia desde Munich se muestra a continuación:

Almacén	Demanda diaria (kg)	Distancia (km)
Milán	25,000	800
París	35,000	1,000
Copenhague	20,000	600
Madrid	20,000	1,300

Todos los envíos se hacen por camión de carga. Hay tres tamaños de camión disponibles, con capacidades de 40,000 kg (pequeño), 60,000 kg (mediano) y 80,000 kg (grande). Los costos de transporte para los tres tipos de camión son los siguientes:

Pequeño: $100 + 0.1x$ euros
Mediano: $125 + 0.1x$ euros
Grande: $150 + 0.1x$ euros

donde x es la distancia a recorrer en kilómetros. Para la frecuencia de reabastecimiento que varía entre uno y cuatro días para cada almacén, identifique la opción de transporte óptima y el costo asociado. ¿Qué otros factores deben considerarse antes de decidir la frecuencia de reabastecimiento?

Bibliografía

Ampuja, Jack y Ray Pucci. (Marzo-abril 2002). Inbound Freight Often a Missed Opportunity. *Supply Chain Management Review,* pp. 50-57.

Ballou, Ronald H. (1999). *Business Logistics Management.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Bowersox, Donald J., David J. Closs y Omar K. Helferich. (1986). *Logistical Management*. Nueva York: Macmillan.

Button, Kenneth J. y Erik T. Verhoef. (1998). *Road Pricing*, *Traffic Congestion and the Environment.* Northampton, MA: Edward Elgar.

Coyle, John J., Edward J. Bardi y Robert A. Novack. (2000). *Transportation.* Cincinnati, OH: South-Western College Publishing.

Ellison, Anthony P. (2002). *Entrepreneurs and the Transformation of the Global Economy.* Northampton, MA: Edward Elgar.

Hammond, Janice H. y John E. P. Morrison. (1988). En U.S. Transportation Industry. Harvard Business School. Nota 688080.

Levinson, David M. (1998). Road Pricing in Practico. In *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment,* Kenneth J. Button, y Robert A. Novack, eds. Northampton, MA: Edgar Elgar.

Levinson, Marc. (2006). *The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Robeson, James F. y William C. Copacino. (1994). *The Logistics Handbook* Nueva York: The Free Press.

Shapiro, Roy D. y James L. Heskett. (1985). *Logistics Strategy: Cases and Concepts.* St. Paul, MN: West.

Transportation in America 1998. (1998). Washington, DC: Eno Transportation Foundation.

Tyworth, John. E., Joseph L. Cavinato y C. John Langley Jr. (1991). *Traffic Management: Planning*, *Operations*, *and Control* Prospect Heights, IL: Waveland.

ESTUDIO DE CASO

Diseño de la red de distribución de Michael's Hardware

Ellen Lin, vicepresidenta de la cadena de suministro en Michael's Hardware, revisaba los resultados financieros del anterior trimestre y pensó que la compañía podría mejorar significativamente sus costos de distribución, en especial dada la reciente expansión a Arizona. Los costos de transporte habían sido muy altos, y Ellen creía que si utilizaba envíos

de carga consolidada a Arizona los costos de transporte se reducirían sin aumentar considerablemente los inventarios.

Michael's contaba con 32 tiendas en Illinois y en Arizona y adquiría sus productos con ocho proveedores ubicados en el Oeste Medio. La compañía comenzó en Illinois y sus tiendas disfrutaban de fuertes ventas. Cada tienda en Illinois vendía en promedio 50,000 unidades al año de producto de cada proveedor (con ventas anuales de 400,000 unidades por tienda). La operación en Arizona se inició hace cerca de cinco años y aún tenía mucho espacio para crecer. Cada tienda en Arizona vendía 10,000 unidades al año de cada proveedor (con ventas anuales de 80,000 unidades por tienda). Dadas las grandes ventas en las tiendas de Illinois, Michael's siguió un modelo de envío directo y utilizaba camiones pequeños (con capacidad de 10,000 unidades) desde cada proveedor hacia cada una de sus tiendas de Illinois. Cada camión costaba $450 por entrega desde un proveedor hasta una tienda de Illinois y podía transportar hasta 10,000 unidades. En Arizona, sin embargo, la compañía deseaba mantener los inventarios bajos y utilizaba envíos de carga consolidada (LTL) que requerían un envío mínimo de sólo 500 unidades por tienda a un costo de $0.50 por unidad. Los costos de retención de Michael's eran de $1 por unidad por año.

Ellen le pidió a su personal que propusiera diferentes alternativas de distribución para Illinois y Arizona.

Alternativas de distribución para Illinois

El personal de Ellen propuso dos estrategias de distribución alternativas para las tiendas de Illinois.

1. Usar envíos directos con camiones más grandes con capacidad de 40,000 unidades. Estos camiones cobraban sólo $1,150 por entrega a una tienda de Illinois. Esto reduciría los costos de transporte pero incrementaría los inventarios debido a los grandes tamaños de lote.
2. Realizar recorridos rutinarios desde cada proveedor hacia múltiples tiendas en Illinois para reducir el costo de inventario si el costo de transporte se incrementaba. Los camiones grandes (con capacidad de 40,000 unidades) cobrarían $1,000 por envío y $150 por entrega. Los camiones pequeños (con capacidad de 10,000 unidades) cobrarían $400 por envío y $50 por entrega.

Alternativas de distribución para Arizona

El personal de Ellen ideó tres alternativas para las tiendas de Arizona:

1. Utilizar envíos directos en camiones pequeños (con capacidad de 10,000 unidades) como actualmente se hacía en Illinois. Cada camión pequeño cobraba $2,050 por un envío hasta de 10,000 unidades desde un proveedor hacia una tienda en Arizona. Este era un costo de transporte mucho más bajo que el que actualmente cobraba un transportista LTL. Esta alternativa, sin embargo, incrementaría los costos de inventario en Arizona dados los grandes tamaños de lote.
2. Realizar recorridos rutinarios con camiones pequeños (con capacidad de 10,000 unidades) desde cada proveedor hacia múltiples tiendas en Arizona. El transportista cobraba $2,000 por envío y $50 por entrega. Por tanto, un recorrido rutinario desde un proveedor hacia cuatro tiendas costaría $2,200. Los recorridos rutinarios incurrirían en costos de transporte más altos que el envío directo pero mantendrían bajos los costos de inventario.
3. Utilizar una instalación de reparto directo de terceros en Arizona que cobraba $0.10 por unidad por el servicio . Esto permitiría a todos los proveedores enviar producto (destinado para las 32 tiendas de Arizona) con un camión grande a la instalación de reparto directo, donde se cargaría en camiones pequeños para enviarlo a las tiendas (cada camión ahora contendría productos de los ocho proveedores). Los camiones grandes (con capacidad de 40,000 unidades) cobraban $4,150 desde cada proveedor hasta la instalación de reparto directo. Los camiones pequeños (con capacidad de 10,000 unidades) cobraban $250 desde una instalación de reparto directo hasta cada una de las tiendas de Arizona.

Ellen se preguntaba cómo estructurar mejor la red de distribución y si los ahorros valdrían el esfuerzo. Si utilizaba recorridos rutinarios en una u otra región, también tenía que decidir sobre cuántas tiendas incluir en cada recorrido rutinario.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el costo de distribución anual de la red de distribución actual? Incluya los costos de transporte e inventario.
2. ¿Cómo debe estructurar Ellen la distribución desde los proveedores hasta las tiendas en Illinois? ¿Qué ahorros anuales puede esperar?
3. Cómo debe estructurar Ellen la distribución desde los proveedores hasta las tiendas en Arizona? ¿Qué ahorros anuales puede esperar?
4. ¿Qué cambios en la red de distribución (si hubiera algunos) sugeriría conforme ambos mercados crecen?

15



Decisiones de aprovisionamiento en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Comprender el rol del aprovisionamiento en una cadena de suministro.
2. Analizar los factores que afectan la decisión de subcontratar una función de la cadena de suministro.
3. Identificar las dimensiones de desempeño de un proveedor que afectan el costo total.
4. Estructurar subastas y negociaciones exitosas.
5. Describir el efecto de compartir el riesgo en el desempeño del proveedor y en la distorsión de la información.
6. Diseñar una cartera de proveedores adaptada.

En este capítulo exploramos varios factores que influyen en las decisiones sobre si una actividad de la cadena de suministro se realiza dentro de la compañía o se subcontrata. También analizamos las características de desempeño de los proveedores que afectan el costo total. Nuestro objetivo es permitir que los gerentes consideren todas las concesiones implicadas cuando se toman decisiones de aprovisionamiento para maximizar el valor extraído de cada etapa de una relación de aprovisionamiento.

15.1 ROL DEL APROVISIONAMIENTO EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Comprar, o adquirir, es el proceso mediante el cual las compañías adquieren materias primas, componentes, productos, servicios y otros recursos de proveedores para ejecutar sus operaciones. El aprovisionamiento es todo el conjunto de procesos de negociación requeridos para comprar bienes y servicios. Para cualquier función de la cadena de suministro la decisión más importante es la de subcontratar la función o realizarla internamente. El *outsourcing* da como resultado que la función de la cadena la lleve a cabo un tercero. El outsourcing es uno de los problemas más importantes que enfrenta una empresa, y las acciones entre las industrias tienden a ser variadas. Por ejemplo, W.W. Grainger, un distribuir de productos MRO, ha sido propietario y administrador de manera consistente de sus centros de distribución. En contraste, el transporte de salida de paquetes de los centros de distribución a los clientes lo ha subcontratado con un tercero. Por lo que se refiere al transporte de salida LTL (camión incompleto), Grainger está cambiando de un escenario en el cual todo se subcontrataba con un tercero a un modelo híbrido en el cual Grainger es dueño de algunos camiones. ¿Qué factores explican las decisiones de Grainger?

Hasta 2005, a Dell se le reconoció haber mejorado las utilidades al mantener la función de menudeo dentro de la empresa y vender directamente a los clientes. Desde 2007, sin embargo, Dell comenzó a subcontratar la función de ventas al menudeo con empresas. Dell también ha incrementado la fracción en ensamble que subcontrata con fabricantes contratados. ¿Por qué la integración vertical hacia la función minorista fue una buena idea para Dell hasta cerca

de 2005, pero no después de 2007? ¿Fue una decisión correcta por parte de Dell subcontratar una mayor fracción del ensamble con fabricantes contratados? Al contrario de Dell, Apple ha ampliado de manera importante la internalización de la función minorista durante el mismo periodo con el incremento de tiendas minoristas Apple. Procter & Gamble (P&G) nunca ha tratado de vender detergente directamente a los clientes y nadie le está solicitando que realice de manera interna la operación detallista. ¿Qué hizo que la integración vertical hacia la función minorista fuera una buena idea para Dell pero no para P&G? Motorola emplea un distribuidor para vender sus teléfonos celulares en gran parte de Latinoamérica. Por el contrario, la mayor parte de sus ventas en Estados Unidos no se realizan a través de distribuidores. ¿Por qué el outsourcing de la distribución es benéfico para Motorola en América Latina pero no en Estados Unidos?

Antes de continuar es importante aclarar la diferencia entre *outsourcing* y *offshoring*. Una empresa realiza una función de offshoring (localización externa) de la cadena de suministro si traslada la instalación de producción al extranjero (aun cuando mantenga su propiedad). En contraste, una compañía realiza outsourcing (subcontratación) si contrata a una compañía externa para que realice una operación en lugar de realizarla en su propia planta. En el capítulo 6 analizamos detalladamente la decisión con respecto a la localización externa (offshoring); en este capítulo nos enfocamos en el outsourcing, más que en el offshoring. Abordamos el outsourcing de las actividades de la cadena de suministro por una empresa con base en las tres siguientes preguntas:

1. ¿Incrementará el tercero el superávit de la cadena de suministro con respecto a la realización de la actividad en casa?
2. ¿Qué tanto del incremento del superávit logra conservar la emprea?
3. ¿A qué grado se incrementan los riesgos con el outsourcing?

Recordemos que el superávit de la cadena de suministro es la diferencia entre el valor de un producto para el cliente y el costo total de todas las actividades de la cadena de suministro que intervienen para llevar el producto al cliente. El superávit es el tamaño total del pastel que comparten todos los participantes de la cadena (incluido el cliente). Nuestra premisa básica es que el outsourcing tiene sentido si incrementa el superávit de la cadena de suministro (suponiendo que podemos conservar algo del incremento), sin afectar de manera importante los riesgos. Nos adelantamos y afirmamos que un participante de la cadena puede sobrevivir en el largo plazo sólo si su presencia incrementa el superávit de la cadena de suministro. Entonces se puede argumentar que la utilidad de cada una de las partes que intervienen en la cadena está correlacionada con el grado al que se incrementa el superávit.

Una vez que se ha tomado la decisión de subcontratar, los procesos de aprovisionamiento incluyen la selección de los proveedores, el diseño de los contratos de los proveedores, la colaboración en el diseño del producto, la adquisición de materiales o servicios, y la evaluación del desempeño de los proveedores, como se muestra en la figura 15-1.

La *puntuación y evaluación de un proveedor* es el proceso utilizado para calificar el desempeño de los proveedores a quienes se debe comparar con base en su efecto en el superávit de la cadena de suministro y el costo total. Desafortunadamente, las decisiones de aprovisionamiento suelen tomarse solamente con base en el precio cobrado por un proveedor. Muchas otras características del proveedor, como el tiempo de espera, la confiabilidad, la calidad y la capacidad del diseño, también afectan el costo total de hacer negocios con un proveedor. Un buen proceso de puntuación y evaluación del proveedor debe identificar y seguir el desempeño a lo largo de todas las dimensiones y evaluar el impacto en el costo total de utilizar un proveedor. En la *selección del proveedor* se utiliza el resultado de la puntuación y evaluación para identificar al proveedor o proveedores adecuados. Luego se negocia un contrato de abastecimiento con el proveedor. Un buen contrato

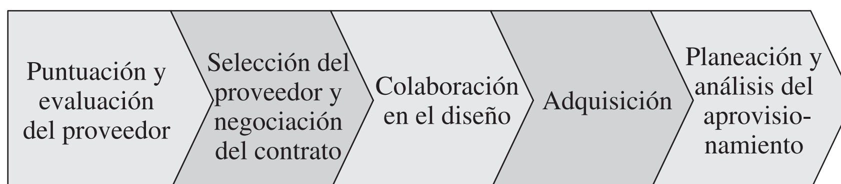


FIGURA 15-1 Procesos clave relacionados con el aprovisionamiento.

debe tener en cuenta todos los factores que afectan el desempeño de la cadena de suministro y debe diseñarse para incrementar las utilidades de la cadena de modo que beneficie tanto al proveedor como al comprador.

Dado que cerca de 80% del costo de un producto se determina durante el diseño, es crucial que los proveedores participen activamente en esta etapa. La *colaboración en el diseño* permite al proveedor y al fabricante trabajar juntos cuando diseñan componentes para el producto final. La colaboración en el diseño también garantiza que cualquier cambio en el diseño se comunique de manera efectiva a todas las partes que intervienen en el diseño y fabricación del producto. Una vez diseñado el producto, la *adquisición* es el proceso mediante el cual el proveedor envía el producto en respuesta a los pedidos colocados por el comprador. El objetivo de la adquisición es permitir que los pedidos se coloquen y entreguen puntualmente al menor costo total posible. Por último, el rol de la *planeación y análisis del aprovisionamiento* es analizar los gastos a través de varios proveedores y categorías de componentes para identificar oportunidades para reducir el costo total.

El costo de los productos vendidos (COGS, *Cost of goods sold*) representa más de 50% de las ventas de la mayoría de los principales fabricantes. Dentro del costo de los bienes vendidos, las partes compradas ahora representan una fracción mucho mayor de lo que eran hace varias décadas. Este cambio ha ocurrido debido a que las compañías han reducido la integración vertical y subcontratado la fabricación de muchos componentes. Compañías como Cisco han ido más allá y también han subcontratado una fracción significativa de la capacidad de ensamble. Como las compañías se ven más presionadas para lograr menores costos y la parte de los proveedores del costo de los bienes vendidos se incrementa, las buenas decisiones de aprovisionamiento tendrán un mayor impacto en el liderazgo de costos y la ventaja competitiva de una empresa.

Los procesos de aprovisionamiento eficaces dentro de una empresa pueden mejorar sus utilidades y el superávit de la cadena de suministro de varias maneras. Es importante que los factores que permiten mejorar las utilidades se identifiquen con claridad cuando se tomen decisiones de aprovisionamiento. Algunos de los beneficios de las decisiones eficaces de aprovisionamiento son las siguientes:

- Se pueden lograr mejores economías de escala si se agregan los pedidos dentro de una empresa.
- Las transacciones de adquisición más eficientes pueden reducir significativamente el costo total de las compras. Esto es muy importante para artículos que implican un gran número de transacciones de bajo valor.
- La colaboración en el diseño puede dar por resultado productos fáciles de fabricar y distribuir, lo que redunda en costos totales más bajos. Este factor es muy importante para componentes que contribuyen de manera significativa al costo y valor del producto.
- Los buenos procesos de adquisición pueden facilitar la coordinación con el proveedor y mejorar la pronosticación y la planeación. Una mejor coordinación reduce los inventarios y mejora el ajuste entre la oferta y la demanda.
- Los contratos adecuados con el proveedor permiten compartir el riesgo, lo que propicia mayores utilidades tanto para el proveedor como para el comprador.
- Las empresas pueden lograr un menor costo de compra al aumentar la competencia por medio de subastas.

Cuando se diseña una estrategia de aprovisionamiento es importante que la compañía identifique con claridad los factores que más influyen en el desempeño y se enfoque en mejorar dichas áreas. Por ejemplo, si la mayor parte del gasto de una compañía está en materiales con sólo algunas transacciones de alto valor, mejorar la eficiencia de las transacciones de adquisición proporcionará poco valor, mientras que mejorar la colaboración en el diseño y la coordinación con el proveedor proporcionará un valor significativo. En contraste, cuando se adquieren artículos con muchas transacciones de bajo valor, aumentar las transacciones de adquisición será valioso.

En la siguiente sección analizamos los factores que influyen en la decisión del outsourcing.

15.2 ACTIVIDAD INTERNA U OUTSOURCING

La decisión del outsourcing se basa en el crecimiento del superávit de la cadena de suministro provisto por un tercero y el incremento del riesgo por utilizarlo. Una empresa debe considerar el outsourcing si el crecimiento del superávit es grande con un pequeño incremento del riesgo. Se prefiere realizar la función de manera interna si el crecimiento del superávit es pequeño o el incremento del riesgo es grande.

¿Cómo incrementan los terceros el superávit de la cadena de suministro?

Los terceros aumentan el superávit de la cadena de suministro si incrementan el valor para el cliente o reducen el costo de la cadena de suministro en relación con una empresa que realiza la tarea internamente. Los terceros pueden incrementar eficazmente el superávit de la cadena de suministro si son capaces de agregar los activos o flujos de la cadena a un nivel más alto que el que la empresa podría lograr. Analizamos varios mecanismos que los terceros pueden usar para hacer crecer el superávit.

1. ***Agregación de la capacidad.*** Un tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro agregando la demanda de múltiples compañías y obteniendo economías de escala, algo que ninguna compañía podría hacer por su cuenta. Ésta es la razón más común del outsourcing de la producción en una cadena de suministro. Una de las razones por las que Dell (y uno que otro fabricante de computadoras personales) subcontrata el diseño y producción de los procesadores de sus computadoras a Intel es que Intel abastece a muchos fabricantes de computadoras y obtiene economías de escala que no estarían disponibles para Dell si diseña y produce sus propios procesadores. El crecimiento del superávit generado por el outsourcing es más alto cuando las necesidades de la compañía son significativamente menores que los volúmenes requeridos para obtener economías de escala. Un buen ejemplo en este contexto es Magna Steyr, un tercero que se ha hecho cargo del ensamble de automóviles de varios fabricantes. Magna Steyr ha desarrollado una capacidad y mano de obra flexibles que le permiten producir económicamente automóviles que se venden en volúmenes bajos. Ha producido el X3 para BMW, el clase G para Mercedes y la Grand Cherokee para Chrysler. En cada caso, los modelos tenían un volumen de demanda relativamente bajo. Cada compañía no habría obtenido suficientes economías de escala por ensamblar su modelo. Hay un costo por esta flexibilidad que no se puede justificar con base en un modelo, pero Magna Steyr obtiene economías de escala al atender a muchas compañías automotrices. Es improbable que un tercero incremente el superávit mediante la agregación de la capacidad si los requerimientos de volumen de una compañía son grandes y estables. Esto se corrobora por el hecho de que ningún fabricante de automóviles subcontrata con un tercero la producción de los autos que más se venden.

2. ***Agregación del inventario.*** Un tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro agregando los inventarios de varios clientes. W.W. Grainger y McMaster-Carr son proveedores de productos MRO que proporcionan valor principalmente con la agregación del inventario de cientos de miles de clientes. La agregación les permite reducir significativamente la incertidumbre global y mejorar las economías de escala en las compras y transporte. Como resultado, estos distribuidores de productos MRO mantienen considerablemente menos inventarios de ciclo y seguridad que los que se requerirían si cada cliente decidiera mantener inventario por su cuenta. Otro ejemplo de agregación del inventario es Brightstar un distribuidor que facilita el aplazamiento de teléfonos celulares. Éstos se fabrican en el Lejano Oriente y se envían al almacén de Brightstar en Miami, donde se les agrega el software y accesorios conforme llegan los pedidos de clientes de Suramérica. La alta variedad de productos y muchos clientes pequeños permiten a Brightstar incrementar el superávit de la cadena de suministro gracias a la agregación y aplazamiento del inventario. El tercero que agrega el inventario contribuye más al superávit de la cadena de suministro cuando la demanda de los clientes está fragmentada y es incierta. Cuando la demanda es grande y predecible, un intermediario agrega poco al superávit al retener el inventario. La consolidación de las ventas al menudeo, la escala y previsibilidad resultantes de la demanda de los detallistas explican la razón por la que los distribuidores desempeñan un papel secundario en Estados Unidos en comparación con los países en desarrollo.

3. ***Agregación del transporte mediante intermediarios de transporte.*** Un tercero puede incrementar el superávit mediante la agregación de la función de transporte a un nivel más alto que cualquier expedidor por su cuenta. UPS, FedEx, y una gran cantidad de transportistas LTL son ejemplo de intermediarios de transporte que incrementan el superávit de la cadena de suministro con la agregación del transporte de varios expedidores. El valor aportado en cada caso depende de las economías de escala inherentes en el transporte. Cada expedidor desea enviar una cantidad menor que la capacidad del medio de transporte. El intermediario de transporte agrega los envíos de múltiples expedidores, lo que reduce el costo de cada envío por debajo de lo que podría lograr el expedidor solo. Un intermediario de transporte incrementa el superávit de la cadena de suministro cuando los expedidores envían paquetes o cantidades LTL a clientes que se encuentran geográficamente distribuidos. Un intermediario de transporte también puede incrementar el superávit en el caso de envíos TL con la agregación de varias compañías que tienen flujos de transporte desbalanceados, con la

cantidad que llega a una región muy diferente de la que sale de la misma. Un excelente ejemplo de un intermediario de transporte que incrementa el superávit de la cadena de suministro es un programa piloto que involucra a Chrysler y Ford. Exel, un proveedor logístico (3PL) operaba una flotilla dedicada a la distribución de partes de repuesto para Chrysler. En pruebas realizadas en Michigan y México, Ford agregó sus propias partes de repuesto para camión para su entrega en la misma flotilla. Dada la relativamente baja densidad de distribuidores en el norte de Michigan y México (en las afueras de la ciudad de México) la agregación provista por Exel fue un beneficio tanto para Ford como para Chrysler. Es probable que un intermediario de transporte agregue una cantidad mínima al superávit de la cadena de suministro para una compañía como Walmart, cuyo tamaño de envíos es grande y que también logra la agregación a través de las muchas tiendas detallistas que posee. La única posibilidad para un intermediario de transporte en tal escenario sería obtener mejores cargas de regreso que Walmart.

4. ***Agregación del transporte mediante intermediarios de almacenamiento.*** Un tercero que almacena inventario también puede incrementar el superávit de la cadena de suministro si agrega el transporte de entrada y salida. Los intermediarios de almacenamiento como W.W. Grainger y McMaster-Carr almacenan productos de más de mil fabricantes cada uno y los venden a cientos de miles de clientes. Por el lado de entrada son capaces de agregar envíos de varios fabricantes en un solo camión. Esto da por resultado un costo de transporte más bajo que el que cada fabricante podría lograr de manera independiente. Por el lado de salida, agregan paquetes para clientes en un destino común, lo que da por resultado un costo de transporte significativamente más bajo que el que cada cliente puede lograr por separado. Por ejemplo, el centro de distribución de Grainger en Chicago carga camiones distintos con paquetes destinados para cada estado adyacente. En cuanto un camión destinado para Michigan (por ejemplo) se termina de cargar, se envía a la instalación de clasificación de UPS en Michigan. Los clientes por sí mismos no pueden lograr este nivel de agregación. Por tanto, el almacenamiento de productos por parte de Grainger y McMaster-Carr incrementa el superávit de la cadena de suministro al agregar el transporte de entrada y salida. Un servicio similar lo proveen distribuidores en países como India. Dado el tamaño pequeño de las tiendas minoristas, un distribuidor agrega las entregas de varios fabricantes, lo que reduce significativamente el costo del transporte de salida. Esta forma de agregación es más eficaz si el intermediario almacena productos de muchos proveedores y atiende a muchos clientes, que piden en pequeñas cantidades. Esta forma de agregación se vuelve menos eficaz conforme crece la escala del envío de un proveedor a cliente. Esto se pone de manifiesto por el uso disminuido de distribuidores por parte de cadenas de supermercados estadounidenses. Los supermercados en general entregan camiones completos por su cuenta y no necesitan un distribuidor para una agregación adicional.

5. ***Agregación del almacenamiento.*** Un tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro si agrega las necesidades de almacenamiento de varios clientes. El crecimiento del superávit se logra en términos de costos más bajos de bienes inmuebles y costos de procesamiento más bajos dentro del almacén. Los ahorros derivados de la agregación del almacenamiento surgen si las necesidades de almacenamiento de un proveedor son pequeñas o si sus necesidades fluctúan con el tiempo. En cualquier caso, el intermediario con el almacén puede explotar las economías de escala en la construcción y operación del almacén con la agregación de múltiples clientes. Un ejemplo es Safepress, un proveedor logístico en India. Safepress tiene almacenes distribuidos por todo el país que muchos de sus clientes utilizan. La mayoría de sus clientes no tienen necesidades de almacenamiento que sean lo bastante grandes para justificar un almacén propio en cada región. La agregación del almacenamiento por parte de un intermediario aporta mucho al superávit de proveedores pequeños y de compañías que inician operaciones en una ubicación geográfica. Es improbable que la agregación del almacenamiento aporte mucho al superávit de un proveedor grande o cliente cuyas necesidades de almacenamiento son grandes y relativamente estables a lo largo del tiempo. Las necesidades de almacenamiento de Walmart, Amazon y Grainger son bastante grandes y estables para justificar su propio almacén, y es improbable que un tercero incremente el superávit.

6. ***Agregación de las adquisiciones.*** Un tercero incrementa el superávit de la cadena de suministro si agrega las adquisiciones de muchos participantes pequeños y facilita las economías de escala en la colocación de pedidos, producción y transporte. La agregación de las adquisiciones es más eficaz a través de muchos compradores pequeños. Un buen ejemplo es FleetXchange, una empresa que ofrece a las flotillas de camiones pequeñas precios bajos en equipo y servicios mediante la agregación de las compras. Es improbable que la agregación de las adquisiciones sea un factor importante en la situación de pocos clientes grandes. Por ejemplo, los fabricantes por contrato en la industria electrónica no han convencido a sus grandes clientes

como HP y Motorola de que subcontraten la función de adquisición. HP y Motorola son tan grandes que obtendrían muy poco beneficio marginal por la agregación adicional, mientras que hay un inconveniente potencial en el sentido de que cederían la relación con el proveedor al fabricante por contrato si subcontratan la función de adquisición. Para una compañía electrónica pequeña, sin embargo, la agregación de las adquisiciones ofrecida por un fabricante por contrato podría incrementar significativamente el superávit de la cadena de suministro.

7. ***Agregación de la información.*** Un tercero puede incrementar el superávit con la agregación de la información a un nivel más alto que el de una empresa que lo hace internamente. Todos los detallistas agregan información sobre productos de muchos fabricantes en un solo lugar. Esta agregación de la información reduce los costos de búsqueda de los clientes. eBags es un ejemplo de un detallista que proporciona principalmente agregación de la información. eBags mantiene poco inventario pero es un punto único de exhibición de información sobre bolsos de mano de muchos fabricantes. Al agregar la información del producto, eBags reduce considerablemente los costos de búsqueda para el cliente en línea. Con respecto a eBags, si cada fabricante establece su propio sitio Web y una tienda en línea, los costos de búsqueda para el cliente serían más altos, y cada fabricante tendría que invertir en infraestructura de la información. Por tanto, eBags incrementa el superávit de la cadena de suministro gracias a la agregación de la información lo que hace menos costosa la búsqueda y reduce la inversión en tecnología de la información. Otros dos ejemplos de compañías que utilizan la agregación de la información son W.W. Grainger y McMaster-Carr. Ambas proporcionan un catálogo de productos y un sitio Web detallado. Esto simplifica la búsqueda por parte del cliente y agrega información de productos de más de un millar de fabricantes. Otro excelente ejemplo de agregación de la información lo proporcionan varios sitios en línea, como Freight Zone y Echo Global Logistics, que reúnen a todos los expedidores y camioneros que buscan envíos. La agregación de la información reduce los costos de búsqueda y permite una mejor compaginación de los camioneros y los envíos. La agregación de la información incrementa el superávit si tanto los compradores como los vendedores están dispersos y sus compras son esporádicas. No es probable que la agregación de la información sea un factor importante para un fabricante de automóviles que adquiere acero con regularidad de un solo proveedor.

8. ***Agregación de las cuentas por cobrar.*** Un tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro si puede agregar el riesgo de las cuentas por cobrar a un mayor nivel que la compañía o si su costo de cobranza es menor que el de la empresa. Brightstar es un distribuidor de Motorola en la mayoría de los países latinoamericanos aparte de Brasil. Los teléfonos celulares en el área se venden a través de tiendas minoristas pequeñas independientes. El cobro de las cuentas por cobrar de cada tienda es una proposición muy costosa para un fabricante. Dado que el minorista les compra a muchos fabricantes, el poder de cobrar de estos también se reduce. Brightstar, como distribuidor, es capaz de agregar la cobranza de todos los fabricantes (que atiende) y el costo de cobranza se reduce. Al agregar la cobranza a un grado mayor que el de cualquier fabricante, también reduce el riesgo de incumplimiento. El riesgo y el costo de cobranza reducidos permiten a Brightstar incrementar el superávit de la cadena de suministro con respecto a la situación en que los fabricantes realizan esta actividad. Lo mismo es cierto con los distribuidores en India que a menudo distribuyen para una gran número de fabricantes al mismo detallista. Dada su habilidad de agregar muchos fabricantes y pequeños detallistas, en general los distribuidores en India asumen la responsabilidad de administrar las cuentas por cobrar de los detallistas. Es probable que la agregación de las cuentas por cobrar incremente el superávit de la cadena de suministro si las tiendas detallistas son pequeñas y numerosas y cada una almacena productos de muchos fabricantes que son atendidos por el mismo distribuidor. Tal escenario es más probable en países en desarrollo donde las ventas al detalle se fragmentan. Es menor en países desarrollados como Estados Unidos y la mayor parte de Europa Occidental, donde las ventas al detalle están consolidadas.

9. ***Agregación de la relación.*** Un intermediario puede incrementar el superávit de la cadena de suministro si reduce el número de relaciones requeridas entre múltiples compradores y vendedores. Sin un intermediario, conectar a miles de vendedores con un millón de compradores requiere mil millones de relaciones. La presencia de un intermediario reduce el número de relaciones requeridas a un poco más de un millón. La mayoría de los detallistas y distribuidores de productos MRO como W.W. Grainger mejoran el superávit de la cadena de suministro mediante la agregación de relaciones. Ésta aumenta el superávit de la cadena de suministro al incrementar el tamaño de cada transacción y reducir su cantidad. La agregación de relaciones es más eficaz cuando muchos compradores compran esporádicamente pequeñas cantidades a la vez, pero cada pedido a menudo incluye productos de múltiples proveedores. Por tanto, Grainger puede

incrementar el superávit por ser un agregador de relaciones para productos MRO. Un tercero, sin embargo, no incrementa el superávit por ser un agregador de relaciones entre algunos compradores y vendedores entre quienes las relaciones son fuertes y en el largo plazo. Por ejemplo, Covisint falló en su intento de volverse un agregador de relaciones en la industria automotriz, en especial para materiales directos.

10. ***Costos más bajos y calidad más alta.*** Un tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro si proporciona un costo más bajo o una calidad más alta en relación con la empresa. Si estos beneficios provienen de la especialización y el aprendizaje, tal vez sean sustentables durante un largo tiempo. Es probable que un tercero especializado que conozca a fondo una actividad de la cadena de suministro mantenga su ventaja durante mucho tiempo. Un escenario común, sin embargo, es aquel en el cual el tercero cuenta con una ubicación de bajo costo que la empresa no tiene. En tal situación los costos más bajos de mano de obra y generales son razones temporales para el outsourcing, ya que si el diferencial de los salarios es persistente y el tercero no ofrece ninguna de las ventajas antes mencionadas, es mejor que la compañía mantenga la propiedad y traslade la producción al lugar de bajo costo.

Punto clave

Un tercero puede proporcionar un crecimiento sustentable del superávit mediante la agregación a un mayor nivel que la compañía misma. El crecimiento de la cadena de suministro se deriva de la agregación de la capacidad, el inventario, el transporte de entrada y salida, el almacenamiento, las adquisiciones, la información, las cuentas por cobrar o las relaciones, a un nivel que la compañía no puede llegar por sí misma. Un crecimiento del superávit también puede ocurrir si el tercero tiene costos más bajos o una mayor calidad debido a la especialización o al aprendizaje.

Factores que influyen en el crecimiento del superávit proporcionado por un tercero

Tres factores importantes afectan el incremento del superávit que un tercero proporciona: escala, incertidumbre y especificidad de los activos. Si la escala es grande, es muy probable que dentro de la empresa se logren suficientes economías de escala. En este caso es improbable que un tercero pueda lograr más economías de escala e incrementar el superávit. La escala de Walmart es suficiente en términos de sus necesidades de transporte ya que al realizar el transporte por sí misma logra economías de escala. Recurrir a un tercero no incrementaría el superávit y se perdería algo de control. Por el contrario, si las necesidades de una empresa no proporcionan suficientes economías de escala, el tercero puede incrementar el superávit en gran medida. Aun cuando Grainger maneja un gran número de paquetes de salida, dada su dispersión geográfica, no sería capaz de obtener economías de escala con las entregas a domicilio. En este caso un tercero transportista de paquetería contribuye al superávit.

El segundo factor importante es la incertidumbre de las necesidades de una empresa. Si éstas son predecibles, el incremento del superávit producido por un tercero es limitado, sobre todo si la escala de la compañía es suficiente. En contraste, si las necesidades de la compañía son altamente variables con el tiempo, el tercero puede incrementar el superávit mediante la agregación con otros clientes. Por ejemplo, las necesidades de Grainger son predecibles en función del espacio de almacenamiento requerido. Dada su escala suficiente, tiene y opera sus propios centros de distribución. Por el contrario, la demanda de productos MRO de la mayoría de las compañías es muy incierta. Prefieren no mantener estos artículos en el inventario y utilizar a Grainger como intermediario.

Por último, el crecimiento del superávit depende la especificidad de los activos requeridos por el tercero. Si los activos requeridos son específicos de una compañía y no pueden ser utilizados por otros, es improbable que un tercero incremente el superávit ya que todo lo que hace es mover los activos de una empresa a otra. El tercero no tiene la oportunidad de agregar a otros clientes. Por ejemplo, si un distribuidor mantiene inventario que es específico de un cliente, el distribuidor es incapaz de agregarlo a un mayor nivel que el cliente. La presencia del distribuidor no incrementa el superávit en este caso. Asimismo, si un proveedor logístico administra un almacén exclusivamente para una sola compañía, tiene pocas oportunidades de incrementar el superávit a menos que pueda agregar el uso de sistemas de administración o información en otros almacenes. En contraste, si los activos (inventario o almacenes en los ejemplos anteriores) son menos

Tabla 15-1 Crecimiento del superávit logrado por un tercero como una función de escala, incertidumbre y especificidad

		Especificidad de los activos implicados en la función	
		Alta	**Baja**
Escala de la empresa	Baja	Alto crecimiento del superávit	Crecimiento bajo a mediano del superávit
	Alta	Bajo crecimiento del superávit	El superávit no crece a menos que el costo del capital sea bajo para el tercero
Incertidumbre de la demanda para la empresa	Baja	Crecimiento bajo a mediano del superávit	Bajo crecimiento del superávit
	Alta	Alto crecimiento del superávit	Bajo a mediano crecimiento del superávit

específicos y pueden usarse por múltiples empresas, un tercero puede incrementar el superávit agregando la incertidumbre de múltiples clientes o mejorando las economías de escala.

Punto clave

Una empresa obtiene más por el outsourcing a un tercero si sus necesidades son pequeñas, altamente inciertas, y compartidas por otras empresas que se surten del mismo tercero.

Un caso en el que una compañía puede subcontratar a un tercero aun cuando ninguno de los factores mencionados sugiera el outsourcing es la escasez de capital o un tercero con mucho menor costo de capital. En cualquiera de estos escenarios el tercero puede incrementar el superávit al aportar capital de bajo costo a la cadena de suministro. El análisis sobre cómo y cuando un tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro se resume en la tabla 15-1.

Riesgos de utilizar un tercero

Las empresas deben evaluar los siguientes riesgos cuando asignan cualquier función a un tercero:

1. ***El proceso está averiado.*** Los mayores problemas surgen cuando una compañía subcontrata funciones de la cadena de suministro simplemente porque perdió el control del proceso. Tengamos en cuenta que la introducción de un tercero en un proceso de la cadena de suministro averiado solo empeora y dificulta el control. El primer paso debe ser controlar el proceso, luego realizar un análisis de costo-beneficio, y sólo entonces decidir sobre el outsourcing.

2. ***Subestimación del costo de la coordinación.*** Un error común con el outsourcing es subestimar el esfuerzo requerido para coordinar las actividades a través de múltiples entidades que realizan tareas de la cadena de suministro. Esto es especialmente cierto si una empresa planea subcontratar funciones específicas de la cadena de suministro con diferentes terceros. El outsourcing de funciones con muchos terceros es factible (y puede ser muy eficaz) si la compañía considera que ser coordinadora es una de sus fortalezas principales. Un buen ejemplo de una fuerte coordinadora es Cisco. No obstante, incluso Cisco se topó con problemas a principios de la década de 2000 y se quedó con mucho inventario excedente debido a problemas de coordinación. Un ejemplo de cuando la coordinación provocó problemas fue entre Nike e i2 Tecnologies en el 2000. Nike culpaba de su pérdida de $100 millones a fallas en la administración del inventario que atribuía al software de planeación de la cadena de suministro de i2; i2 a su vez culpaba de los problemas a la ejecución del software por parte de Nike. Evidentemente, la insuficiente coordinación entre las dos empresas tuvo que ver en este problema.

3. ***Contacto reducido con el cliente y/o el proveedor.*** Una empresa puede perder el contacto con el cliente y/o el proveedor al introducir a un intermediario. La pérdida del contacto con el cliente es particularmente importante para empresas que venden directamente a los clientes pero que deciden utilizar un tercero para recopilar los pedidos entrantes o para entregar el producto de salida. Un buen ejemplo es Boise Cascade,

que subcontrató toda su distribución a terceros. Esto condujo a una importante pérdida de contacto con el cliente. Boise Cascade decidió realizar internamente la entrega para clientes localizados cerca de sus centros de distribución. Dada la alta densidad de clientes alrededor de sus centros de distribución, la ganancia adicional en el superávit que un tercero podía proporcionar era mínima, mientras que la ganancia por el contacto mejorado con los clientes era significativa. Boise Cascade no llevó la distribución más allá de este punto porque la ganancia en el superávit generada por un tercero era importante.

4. ***Pérdida de la capacidad interna e incremento del poder del tercero.*** Una compañía puede elegir mantener una función de la cadena de suministro en casa si el outsourcing incrementa el poder del tercero. Un ejemplo se halla en la industria electrónica. Compañías como HP y Motorola han pasado la mayor parte de su producción a fabricantes por contrato pero están renuentes a pasar las funciones de adquisición o de diseño, aun cuando los fabricantes por contrato han desarrollado ambas capacidades. Dada la cantidad de componentes comunes, se puede argumentar que un fabricante por contrato puede lograr un mayor nivel de agregación en los activos de adquisición y diseño. HP y Motorola, sin embargo, están renuentes a asignar la adquisición a fabricantes por contrato debido a que la pérdida potencial de poder es grande, mientras que las ganancias derivadas de la agregación son pequeñas dado el tamaño relativamente grande de ambas empresas. Mantener una parte de una función de la cadena de suministro en casa también es importante si la pérdida completa de la capacidad fortalece significativamente la posición de negociación del tercero. La capacidad interna sirve entonces como una opción que se puede ejercitar cuando se requiera. La opción también limita que tanto del superávit de la cadena de suministro puede mantener el tercero para sí mismo.

5. ***Filtración de información y datos sensibles.*** La utilización de un tercero requiere que una empresa comparta información sobre la demanda y en algunos casos la propiedad intelectual. Si el tercero también atiende a competidores, la filtración siempre es un peligro. Las empresas han insistido en los cortafuegos (firewalls) dentro del tercero, pero un cortafuegos incrementa la especificidad de los activos, lo que limita el crecimiento del superávit que el tercero puede proporcionar. Cuando la filtración es un problema, en especial con respecto a la propiedad intelectual, las empresas prefieren mantener la función en casa.

6. ***Contratos ineficaces.*** Los contratos con métricas de desempeño que distorsionan los incentivos del tercero reducen de manera significativa las ganancias derivadas del outsourcing. Por ejemplo, el costo más ganancia de los servicios del tercero presenta problemas de incentivo aun si el tercero abre sus libros. Esta forma de fijación de precios elimina los incentivos para que el tercero continúe innovando para reducir los costos. La responsabilidad de mejorar recae en la compañía. Otro ejemplo ocurre cuando las empresas requieren que los proveedores o distribuidores mantengan un cierto número de días de inventario como parte del contrato. Este tipo de contrato reduce el incentivo del tercero de tomar acciones para reducir inventarios. En tal situación, es mejor que la empresa contrate con base en un nivel de servicio deseado y permita al tercero más libertad con respecto a la cantidad de inventario. El tercero tiene entonces un incentivo para trabajar en la reducción del inventario requerido para proporcionar un nivel de servicio dado.

7. ***Pérdida de visibilidad en la cadena de suministro.*** La introducción de terceros reduce la visibilidad de las operaciones de la cadena de suministro, lo que hace más difícil que la compañía responda con rapidez a los clientes locales y a las demandas del mercado. Esta pérdida de visibilidad puede ser particularmente nociva para cadenas de suministro largas.

8. ***Impacto negativo en la reputación.*** En muchos casos, las acciones con respecto a la mano de obra o el ambiente realizadas por el tercero pueden tener un impacto negativo en la reputación de la compañía. Nike ha tenido dificultades con varios de sus proveedores en relación con prácticas de mano de obra y el ambiente. En 2008, Nike presentó su primer informe sobre proveedores en China y reportó varias prácticas laborales y ambientales cuestionables, entre ellas el de trabajadores menores de edad, salarios no pagados y documentos falsificados. La pérdida de reputación por las acciones de un proveedor puede ser particularmente dañina para compañías como Nike con marcas fuertes.

15.3 PROVEEDORES LOGÍSTICOS EXTERNOS 3PL Y 4PL

Un proveedor *logístico externo* (3PL, *Third-party Logistics*) realiza una o más de las actividades logísticas relacionadas con el flujo de un producto, información y fondos que podrían ser llevadas a cabo por la empresa en sí. Tradicionalmente, los proveedores logísticos externos (3PL) se enfocan en funciones específicas como

Tabla 15-2 Servicios provistos por 3PLs

Categoría del servicio	Servicio básico	Servicios con algún valor específico agregado
Transporte	Transporte de entrada, salida por barco, camión, ferrocarril, avión	Licitación, seguimiento, conversión de medios, expedición, pago de fletes, administración de contratos
Almacenamiento	Almacenamiento, administración de instalaciones	Reparto directo, consolidación en tránsito, distribución compartida por varias compañías, selección/empaque, equipamiento, control de inventario, etiquetado, surtido de pedidos, entrega a domicilio de pedidos por catálogo
Tecnología de la información	Proporcionar y mantener sistemas de información/ computación avanzados	Sistemas de administración del transporte, administración de almacenes, modelado de redes y selección del sitio, pagos de facturas de fletes, interfaces automatizadas para agentes (*brokers*), coordinación integral, pronosticación, intercambio electrónico de datos (EDI), seguimiento mundial, visibilidad global
Logística inversa	Manejo de flujos inversos	Reciclaje, disposición de activos usados, devoluciones de clientes, reparación, reparación/renovación de contenedores retornables
Otros servicios 3PL		Intermediación, expedición de carga, administración de pedidos de compra, toma de pedidos, reclamaciones por pérdidas y daños, auditorias de facturas de carga, consultoría, entrega a la hora acordada
Internacional		Intermediación aduanal, servicios portuarios, consolidación de embalajes para exportación
Habilidades especiales/manejo		Materiales peligrosos, controlados por temperatura, entrega de paquetes, instalaciones y equipo de grado alimenticio, carga a granel

transporte, almacenamiento y tecnología de la información dentro de la cadena de suministro. *Armstrong's Guide to 3PLs & Global Logistics Services* (Armstrong & Associates, Inc., 2001) describe algunos de los servicios ofrecidos por proveedores externos 3PL, como se muestra en la tabla 15-2.

La mayoría de los 3PL se iniciaron enfocándose en una de las funciones de la cadena de suministro. Por ejemplo, UPS se inició como un pequeño transportista de paquetería; Schneider empezó como transportista de carga. Sin embargo, conforme al paso de los años las funciones básicas se han ido estandarizando, los proveedores logísticos externos han ampliado su gama de servicios básicos. Varios clientes aún utilizan proveedores logísticos externos para realizar una función específica. Por ejemplo, Grainger maneja por cuenta propia la mayor parte del ciclo desde la colocación de pedidos hasta la entrega, excepto el transporte de salida, el cual subcontrata con UPS. Evidentemente, UPS incrementa el superávit en este caso dada la dispersión geográfica de los clientes de Grainger y los tamaños pequeños de los pedidos. UPS ahora se ha expandido para incluir almacenamiento, tecnología de la información, entrega internacional y varios otros servicios y pretende realizar una variedad más amplia de funciones para sus clientes. El mayor rango de servicios permitió a UPS firmar un contrato para administrar la cadena de suministro global de la National Semiconductor Corporation. UPS se encarga del traslado de chips de las plantas de esta empresa a un centro de distribución global y de ahí a clientes de todo el mundo.

Asimismo, Schneider Logistics ofrece una amplia variedad de servicios aparte del transporte de carga. Para las Operaciones de Partes de Repuesto de General Motors (GMSPO, *General Motors Spare Parts Operations*), Schneider proporciona servicios integrales logísticos desde la colocación de pedidos hasta el pago final. Varios 3PLs como UPS y FedEx también han agregado reparaciones menores y ensamble simple al conjunto de servicios que ofrecen a sus clientes. La realización de reparaciones simples de computadoras en un centro de distribución de UPS ha reducido significativamente el esfuerzo de la cadena de suministro cuando el producto cuenta con garantía ya que el producto no tiene que salir del centro de distribución de UPS.

La tendencia al outsourcing de una gama más amplia de servicios de la cadena de suministro ha ido en aumento desde fines de la década de 1990. Con la globalización incrementada de las cadenas de suministro, los clientes buscan empresas que puedan administrar prácticamente todos los aspectos de su cadena de suministro. Esto ha llevado al concepto de un cuarto proveedor *logístico externo* (4PL, *fourth-party logistics*).

El 4PL fue definido por primera vez por Andersen Consulting (ahora Accenture) como un "integrador que reúne los recursos, capacidades y tecnología de su propia organización y de otras organizaciones para diseñar, construir y ejecutar soluciones integrales de la cadena de suministro".[1] Mientras que un proveedor 3PL se enfoca en una función o en un conjunto de funciones, un proveedor 4PL se enfoca en la administración de todo el proceso. Algunos han descrito a un proveedor 4PL como un contratista general que administra a otros proveedores 3PL, camioneros, despachadores, agentes aduanales y otros, asumiendo en esencia la responsabilidad de un proceso completo del cliente. Cuando la idea se formuló por primera vez, Andersen concibió un proveedor 4PL neutral que no era propietario de ningún activo logístico sino que administraba a varios proveedores logísticos. La realidad ha sido un tanto diferente. Casi ningún proveedor 4PL ha logrado establecerse. Muchos proveedores 3PL, sin embargo, han empezado a ofrecer servicios integrados y actúan como un proveedor 4PL y un proveedor líder logístico que se encarga de algunas de las funciones.

Un ejemplo de proveedor logístico líder es Kuehne & Nagel AG, un expedidor de fletes suizo. Formó Kuehne & Negel Logistics (K & N), la cual se posicionó como proveedor 4PL. En 2002, Nortel Networks contrató a K&N para que manejara toda su logística de salida desde las fábricas hasta los clientes. Ahora K&N administra entre 35 y 40 despachadores, gerentes de almacén, camioneros y otros proveedores logísticos a nivel mundial para Nortel. Además, K&N proporciona algunos de estos servicios a Nortel.

Una pregunta fundamental es cómo un 4PL agrega valor en relación con una empresa que administra sus propios proveedores logísticos. Otra cuestión afín es la cantidad de recursos que el proveedor 4PL dedica a una compañía particular (especificidad de los activos) y si estos recursos se pueden usar en otra parte. Esto es particularmente importante en el caso de K&N y Nortel ya que K&N contrató a cerca de 100 empleados de Nortel que antes manejaban la cadena de suministro. Una respuesta que a menudo se manifiesta es que el outsourcing de K&N permite a Nortel aplicar su capital limitado en su negocio central. Recordemos, sin embargo, que el outsourcing de una actividad no fundamental como la logística no garantiza ningún crecimiento en el superávit de la cadena de suministro. La relación de K&N y Nortel puede sobrevivir en el largo plazo sólo si K&N puede incrementar el superávit en una forma que Nortel no lo pueda hacer y que K&N no tenga recursos significativos dedicados únicamente a Nortel. De hecho, en 2010, K&N tuvo que despedir a 115 empleados de su almacén en Chapel Hill, Carolina del Norte, debido al recorte de personal de Nortel en esa área. En este caso K&N no pudo reasignar los recursos que antes estaban dedicados a Nortel.

La ventaja fundamental que un proveedor 4PL puede proporcionar proviene de una mayor visibilidad y coordinación en la cadena de suministro de una compañía y de las transferencias mejoradas entre proveedores logísticos. Una mayor visibilidad y coordinación requieren el uso de tecnología de la información compleja. Dado el alto costo de desarrollo o compra de esta tecnología y la pericia requerida para implementarla, un proveedor logístico externo 4PL puede incrementar el superávit repartiendo el costo entre múltiples clientes. Muchos proveedores 4PL han desarrollado su propia suite de aplicaciones de TI, mientras otros las integran con aplicaciones de TI de múltiples proveedores. Por ejemplo, Schneider Logistics cuenta con una suite llamada SUMIT, en tanto que Exel plc Americas utiliza aplicaciones de varios proveedores como i2 Tecnologies y CAPS. Un proveedor 4PL también puede incrementar el superávit de la cadena de suministro mediante la agregación eficaz de las demandas de los clientes y la capacidad de proveedores logísticos.

Un excelente ejemplo de una empresa que hace ambas cosas es Li&Fung, la cual ha construido un negocio de miles de millones de dólares ayudando a compañías globales como Reebok a administrar el aprovisionamiento y producción en muchos países en desarrollo. La compañía ha sido un intermediario entre proveedores en países en desarrollo y compradores globales desde de que se fundó en 1906. Originalmente Li&Fung exportaba jade, porcelana y seda de China a Estados Unidos. En la década de 1970 la compañía expandió su red de proveedores y ahora es capaz de operar en torno a acuerdos de comercio regional como la Unión Europea y el NAFTA al aprovisionar adecuadamente. Li&Fung es un centro de información que es capaz de enlazar a de una manera óptima miles de fábricas en 32 países con casi mil clientes. Li&Fung reserva 30 a 70% de la capacidad de un proveedor. Estas fábricas están acostumbradas a las negociaciones repetitivas confiables con Li&Fung y por lo tanto están dispuestas a comprometer esta capacidad. Li&Fung mantiene una información detallada sobre la capacidad de cada fábrica la que asigna a los pedidos adecuados de los clientes en cuanto llegan. Para sus clientes, Li&Fung facilita la producción con un tiempo de espera corto. Esto permite a los clientes observar las tendencias de las ventas antes de comprometerse con un pedido.

[1] Tomado de http://en.wikipedia.org/wiki/4PL, el 29 de enero de 2006.

Cuando llega un pedido, Li&Fung adquiere hilo de un proveedor, se apega al programa de producción de una fábrica de tejidos y finalmente subcontrata la producción de la prenda de vestir para garantizar el cumplimiento del programa de entregas. Todo esto se hace para minimizar el costo de producción y cumplir con los programas de entrega. Evidentemente, Li&Fung es un integrador que incrementa el superávit de la cadena de suministro de una forma que ningún otro cliente individual o proveedor podría. La empresa agrega la demanda de cientos de clientes y la capacidad de miles de proveedores y utiliza la información detallada sobre ambos para igualar la oferta y la demanda de una manera rentable.

Conforme las cadenas de suministro se vuelven más globales, los 3PL con una amplia gama de servicios disfrutan de una ventaja en el mercado. Esto ha dado lugar a una serie de fusiones y los grandes proveedores 3PL se han vuelto aún más grandes. Con el uso creciente del aplazamiento, sobre todo en la industria electrónica, a los intermediarios se les pide que asuman responsabilidades parciales de fabricación. Esto ha llevado a difuminar la distinción entre los proveedores 3PL y los fabricantes por contrato. Los grandes proveedores 3PL cada vez están tratando de ofrecer alguna forma de ensamble final como una parte de su servicio. Por ejemplo, UPS ha ofrecido servicios básicos de reparación y ensamble a sus clientes. Los fabricantes por contrato a su vez están expandiendo sus capacidades logísticas ya sea comprando o formando sociedades con proveedores logísticos. Celestica, un fabricante por contrato, se asoció con Exel Logistics, FedEx, Kuehne & Nagel y Panalpina para que fueran sus proveedores logísticos a principios del siglo XXI. En cada caso, el objetivo fue proporcionar un servicio completo de producción y distribución al cliente.

15.4 UTILIZACIÓN DEL COSTO TOTAL PARA EVALUAR PROVEEDORES

Al tomar la decisión del outsourcing o de comparar proveedores, muchas empresas cometen el error fundamental de enfocarse sólo en la cotización e ignoran el hecho de que muchos factores afectan el costo total de utilizar un proveedor. Por ejemplo, los proveedores tienen diferentes tiempos de espera de reabastecimiento. ¿Vale la pena seleccionar un proveedor más caro con un tiempo de espera más corto? ¿O considerar proveedores que tienen un desempeño diferente en cuanto a puntualidad? ¿Vale la pena pagar un poco más por un proveedor más confiable?

En cada uno de estos casos, el precio que el proveedor cobra es sólo uno de muchos factores que afectan el superávit de la cadena de suministro. Al calificar y evaluar proveedores podemos organizar los factores que influyen en el costo total, como se muestra en la tabla 15-3.

Tabla 15-3 Factores que influyen en el costo total y el desempeño del proveedor

Categoría de desempeño	Componentes de la categoría	¿Cuantificable?
Precio del proveedor	Mano de obra, material, gastos generales, impuestos locales y costos de cumplimiento	Sí
Términos del proveedor	Términos de pago neto, frecuencia de las entregas, tamaño de lote mínimo, descuentos por cantidad	Sí
Costo de entrega	Todos los costos de transporte del origen al destino, costos de empaque	Sí
Costos de inventario	Inventario del proveedor, incluyendo la materia prima, productos en proceso y terminados, inventario en tránsito, inventario de productos terminados en la cadena de suministro	Sí
Costo de almacenamiento	Costos de almacenamiento y manejo de materiales para apoyar el inventario adicional	Sí
Costos de calidad	Costo de inspección, repetición de trabajo, devoluciones del producto	Sí
Reputación	Impacto en la reputación de los problemas relacionados con la calidad	No
Otros costos	Tendencias del tipo de cambio, impuestos, derechos	Sí
Soporte	Gastos generales de administración y soporte administrativo	Difícil
Capacidades del proveedor	Tiempo de espera de reabastecimiento, puntualidad, flexibilidad, capacidad de coordinación de la información, capacidad de coordinación del diseño, viabilidad del proveedor	Hasta cierto grado

El desempeño de cada proveedor potencial (incluida la producción en casa) debe calificarse con base en cada uno de estos factores ya que todos afectan el costo total de cadena. Es importante considerar las tendencias que puede haber en especial si algunos de los proveedores se encuentran en el extranjero. Las tendencias incluyen los tipos de cambio, la inflación local en el costo del material y mano de obra, costos de transporte y aranceles. Esto es especialmente cierto en la actualidad dado que estos factores cambian con rapidez. Goel, Moussavi y Srivatsan (2008) señalan que producir un servidor de rango medio en Asia en 2003 habría generado ahorros importantes en 2003 con respecto a fabricarlo en Estados Unidos. Entre 2005 y 2008, los costos de los fletes marítimos se incrementaron 135%, el yuan chino se revaluó 18% y los salarios de fabricación chinos se incrementaron 44%. Para 2008, los fletes y los costos de mano de obra se habían incrementado lo suficiente para que la producción en Estados Unidos fuera más barata que la producción en Asia. Hasta 2008, muchos fabricantes consideraban la deslocalización como una necesidad, dado que los precios en el extranjero eran 25 a 40% más bajos que los de los proveedores locales. Para 2008, sin embargo, muchos ejecutivos se dieron cuenta que las cadenas de suministro largas, la falta de visibilidad, los problemas de calidad, los crecientes costos de transporte y los salarios al alza en países en desarrollo hicieron que el aprovisionamiento con proveedores locales fuera mucho más atractivo. La menor distancia de transporte incrementa aún más el atractivo de los proveedores locales. Dado que una decisión de aprovisionamiento puede cambiar con rapidez, es importante incluir las tendencias y escenarios (vea el capítulo 6) en el análisis del costo total.

Punto clave

El desempeño de un proveedor debe compararse con base en el impacto en el costo total. Además del precio de compra, el costo total se ve influenciado por los términos del proveedor, los costos de entrega, los costos de inventario, los costos de almacenamiento, los costos de la calidad, el impacto de la reputación, los costos de soporte y otros costos tales como tipos de cambio, impuestos y capacidades del proveedor.

En el ejemplo 15-1, ilustramos una comparación simple de dos proveedores con diferentes precios y otras características de desempeño. Este ejemplo considera sólo algunos de los factores cuantificables.

EJEMPLO 15-1 Comparación de proveedores con base en el costo total

Green Thumb, un fabricante de podadoras de césped y barredoras de nieve históricamente ha comprado un millar de cojinetes por semana a un proveedor local que cobra $1.00 por cojinete. El gerente de compras ha identificado otro proveedor potencial deseoso de suministrar los cojinetes a $0.97 cada uno. Antes de tomar esta decisión, el gerente de compras evalúa el desempeño de los dos proveedores. El tiempo de espera promedio del proveedor local es de dos semanas y ha acordado suministra los cojinetes en lotes de 2,000. Con base en el desempeño pasado en cuanto a puntualidad, el gerente estima que la desviación estándar del tiempo de espera es de una semana. El nuevo proveedor tiene un tiempo de espera de seis semanas con una desviación estándar de cuatro semanas. El nuevo proveedor requiere un tamaño de lote mínimo de 8,000 cojinetes. ¿Con cuál proveedor debe quedarse el gerente (ignorando el costo de colocación de pedidos y enfocándose en el costo del material y el costo de retención del inventario cuando tome su decisión)? El costo de retención del inventario de Green Thumb es de 25%. En la actualidad utiliza una política de revisión continua para administrar el inventario y pretende alcanzar un nivel de servicio de ciclo de 95%. La demanda semanal tiene una media de 1,000 y una desviación estándar de 300.

Análisis:

El desempeño de los proveedores en cuanto al tiempo de espera y la variabilidad del mismo afecta el inventario de seguridad que Green Thumb debe mantener, y el requerimiento de tamaño de lote mínimo afecta el inventario de ciclo mantenido. Por tanto, el gerente de compras debe evaluar el costo total de utilizar cada proveedor. Primero consideramos el costo de utilizar el proveedor actual local:

$$\text{Costo anual del material} = 1{,}000 \times 52 \times 0.97 = \$52{,}000$$

$$\text{Inventario de ciclo promedio (utilizando la ecuación 11.1)} = 2{,}000/2 = 1{,}000$$

$$\text{Costo anual de mantener el inventario de ciclo} = 1{,}000 \times 1 \times 0.25 = \$250$$

Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera (utilizando la ecuación 12.11) $= \sqrt{2 \times 300^2 + 1{,}000^2 \times 1^2} = 1{,}086.28$

Inventario de seguridad requerido con el proveedor actual (utilizando la ecuación 12.9) $= NORMINV\,(0.95) \times 1{,}086.28 = 1{,}787$

Costo anual de mantener el inventario de seguridad $= 1{,}787 \times 1 \times 0.25 = \$447$

Costo anual de utilizar el proveedor actual $= 52{,}000 + 250 + 447 = \$52{,}697$

A continuación consideramos el costo de utilizar el proveedor nuevo:

Costo anual del material $= 1{,}000 \times 52 \times 0.97 = \$50{,}440$

Inventario de ciclo promedio (utilizando la ecuación 11.1) $= 8{,}000/2 = 4{,}000$

Costo anual de mantener el inventario de ciclo $= 4{,}000 \times 0.97 \times 0.25 = \$970$

Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera (utilizando la ecuación 12.11) $= \sqrt{6 \times 300^2 + 1{,}000^2 \times 4^2} = 4{,}066.94$

Inventario de seguridad requerido con el proveedor actual

(utilizando la ecuación 12.9) $= NORMINV(0.95) \times 4{,}066.94 = 6{,}690$

Costo anual de mantener el inventario de seguridad $= 6{,}690 + 0.97 \times 0.25 = \$1{,}622$

Costo anual de utilizar el proveedor nuevo $= 50{,}440 + 970 + 1{,}622 = \$53{,}032$

Observamos que el proveedor nuevo tiene un costo de material anual más bajo pero un costo total anual más alto. Tomando en cuenta las características de desempeño, el gerente de compras debe continuar utilizando el proveedor actual.

15.5 SELECCIÓN DEL PROVEEDOR; SUBASTAS Y NEGOCIACIONES

Antes de seleccionar a los proveedores una compañía debe decidir si utilizar aprovisionamiento único o múltiples proveedores. El aprovisionamiento único le garantiza al proveedor suficiente negocio cuanto tenga que hacer una inversión significativa relaciona con el comprador. La inversión puede adoptar la forma de la planta y equipo diseñados para producir una parte relacionada con el comprador o puede adoptar la forma de la pericia que se tiene que desarrollar. El aprovisionamiento único también se utiliza en la industria de partes automotrices como los asientos que deben llegar en la secuencia de la producción. La coordinación de la secuencia es imposible con múltiples proveedores. En consecuencia, las compañías automotrices tienen sólo un proveedor de asientos para cada planta pero múltiples proveedores de asientos a través de su red de fabricación. Tener múltiples proveedores garantiza un grado de competencia y también reduce el riesgo al proporcionar un respaldo en caso de que un proveedor falle en las entregas.

Una buena prueba de si una compañía cuenta con el número correcto de proveedores es analizar el impacto de la eliminación o adición de un proveedor. A menos que cada proveedor tenga una función un tanto diferente, es probable que la base de suministro sea demasiado grande. En contraste, a menos que la adición de un proveedor con una capacidad única y valiosa contribuya con claridad al costo total, la base de suministro puede ser demasiado pequeña.

La selección de proveedores se hace utilizando varios mecanismos, incluyendo licitaciones competitivas fuera de línea, subastas inversas y negociaciones directas. No importa qué mecanismo se utilice, la selección de un proveedor debe basarse en el costo total de utilizar un proveedor no sólo en el precio de compra. A continuación analizamos algunos mecanismos de subasta que a menudo se utilizan en la práctica y resaltamos algunas de las propiedades.

Subastas en la cadena de suministro

Con el outsourcing a un tercero, las compañías han obtenido licitaciones competitivas y en años recientes han utilizado subastas inversas por Internet. Las licitaciones competitivas son una forma de subasta en la cual las licitaciones no se revelan a los demás licitadores. En el siguiente análisis las tratamos como subastas. Un

excelente análisis sobre subastas se halla en Krishna (2002) y Milgrom (2004). Una gran parte del siguiente análisis es un resumen de sus ideas.

En muchos escenarios de la cadena de suministro, un comprador busca subcontratar una función de la cadena tal como la producción o el transporte. Primero se califica a los proveedores potenciales y luego se les permite licitar sobre cuanto cobrarían para realizar la función. El proceso de calificación es importante ya que existen múltiples atributos de desempeño (como se describe en la tabla 15-3) que el interesan al comprador. Al conducir una subasta basada principalmente en el precio unitario, es entonces importante que el comprador especifique expectativas de desempeño con respecto a todas las dimensiones aparte del precio. En realidad sería más conveniente para el comprador realizar una subasta basada en múltiples atributos, pero en la mayoría de los casos los compradores terminan con especificaciones relacionadas con varias atributos y una subasta basada sólo en el precio. El proceso de calificación se utiliza para identificar proveedores que satisfacen expectativas de diseño con respecto a atributos que no tienen que ver con el precio. Desde la perspectiva del comprador, el objetivo de la subasta es conseguir licitadores que revelen su estructura de costos subyacente de modo que el comprador pueda seleccionar al proveedor con los costos más bajos. Los mecanismos que comúnmente se utilizan en estas subastas son los siguientes:

- Las *subastas de primer precio con ofertas selladas* requieren que cada proveedor potencial presente una oferta sellada por el contrato antes de una fecha específica. Luego se abren estas ofertas y el contrato se asigna al postor con el precio más bajo.
- En las *subastas inglesas*, el subastador inicia con un precio y los proveedores pueden hacer ofertas en tanto que cada oferta sucesiva sea menor que la anterior. El proveedor con la última oferta (la más baja) recibe el contrato. La diferencia en este caso es que todos los proveedores saben cuál es la oferta más baja conforme se desarrolla la subasta.
- En las *subastas holandesas*, el subastador inicia con un precio bajo, y luego lo incrementa lentamente hasta que uno de los proveedores está de acuerdo en contratar a ese precio.
- En las *subastas de segundo precio* (*Vickrey*) cada proveedor potencial presenta una oferta. El contrato se asigna al postor más bajo pero al precio cotizado por el segundo postor más bajo.

Cuando identifica la subasta a utilizar, la compañía desea minimizar el precio que paga. También le puede interesar quedarse finalmente con el proveedor de los costos más bajos ya que es más probable que éste sea capaz de abastecer al precio acordado. Un tema relacionado es si los proveedores tienen alguna motivación para hacer ofertas falsas que no son compatibles con su estructura de precios. Tales ofertas pueden incrementar lo que la compañía paga y también que el contrato se asigne a una compañía que no tiene los costos más bajos.

Un tema importante con la subasta de primer precio con oferta sellada es lo que se conoce como "la maldición del ganador". Una vez que es seleccionado con base en las ofertas selladas, el ganador de inmediato se da cuenta que podía haber incrementado un poco su oferta y aún así haber ganado, ya que los demás proveedores ofertaron a un precio más alto. En este sentido, ganar la licitación hace que el ganador se dé cuenta que dejó dinero en la mesa. Por tanto, los licitadores ajustan sus ofertas selladas iniciales hacia arriba, tomando en cuenta este fenómeno. En una subasta abierta no se presenta este problema, donde los licitadores ven la mejor oferta actual cuando planean su siguiente oferta. Esto tampoco se presenta en la subasta de segundo precio ya que el ganador conoce el precio cotizado por el segundo licitador más bajo y por tanto no tiene por qué esconder su costo verdadero.

Los siguientes factores influyen en el desempeño de una subasta:

- ¿Es privada la estructura de costos del proveedor (no se ve afectada por factores que son comunes para otros licitadores)?
- ¿Son simétricos o asimétricos los proveedores; es decir, de antemano, se espera que tengan estructuras de costos similares?
- ¿Cuentan los proveedores con toda la información que requieren para estimar su estructura de costos?
- ¿Especifica el comprador un precio máximo que está dispuesto a pagar?

Comencemos con las estructuras de costos para proveedores. En la mayoría de los casos es razonable suponer que una parte de los costos del proveedor se deriva de cómo ha estructurado sus procesos y otra de factores del mercado como los costos de materias primas y mano de obra que son comunes a todos los proveedores. En otras palabras, es probable que la estructura de costos de los proveedores sea interdependiente

y esté correlacionada hasta cierto grado. Es probable que esta interdependencia y correlación probablemente son mayores para proveedores con procesos similares localizados en mercados parecidos. Si los proveedores son simétricos y tienen costos interdependientes y correlacionados, el precio esperado que una compañía tiene que pagar en una subasta inglesa no es mayor al que pagaría en una subasta de segundo precio, el que a su vez no es mayor que el de una subasta de primer precio con oferta sellada. En otras palabras, en estas condiciones es probable que la subasta inglesa traiga el mejor precio para la compañía. Si los proveedores son asimétricos, sin embargo, es posible que la subasta de segundo precio funcione mejor que una subasta inglesa.

Si la empresa del comprador cuenta con información directamente relacionada con los costos de los proveedores, y éstos saben que la empresa cuenta con esta información y que ellos no conocen, a la compañía le conviene darla a conocer. Con todos los mecanismos de subasta (con licitadores simétricos), el comprador paga menos con toda la información revelada que con menos información revelada. Por tanto, es más conveniente para el comprador especificar sus necesidades con claridad y revelar toda la información relacionada con la tarea de la cadena de suministro. No revelarla hace que los licitadores oculten sus ofertas para protegerse de la maldición del ganador, y el resultado es un incremento en el precio pagado por el comprador. Por tanto, al comprador le conviene no sólo revelar toda la información pública antes de la licitación, sino también convencer a los proveedores potenciales de que toda la información ha sido revelada.

Un factor importante que hay que tomar en cuenta cuando se diseña una subasta es la posibilidad de una colusión entre los compradores. Las subastas de segundo precio son particularmente vulnerables a la colusión entre licitadores. Consideremos un acuerdo entre licitadores según el cual el licitador con el costo más bajo accede a ofrecer su costo verdadero, y todos los demás ofrecen uno más alto (por decir, el costo del licitador más caro o el precio de reserva del comprador). En una subasta de segundo precio, el licitador con el menor costo obtiene el contrato para realizar la función de la cadena de suministro pero el comprador tiene que pagar un precio más alto que el costo del proveedor con el segundo costo más bajo. Esta estrategia de colusión da lugar a un equilibrio ya que ninguno de los demás licitadores tiene nada que ganar si se aparta del acuerdo de colusión. Observemos que esta estrategia de colusión puede evitarse con cualquiera de las subastas de primer precio, ya sea la de oferta sellada o la inglesa. En ambos casos, un acuerdo de colusión con un precio alto no puede sostenerse, ya que muchos licitadores se sentirán tentados a participar en la licitación si tienen un costo bajo. Por último, cualquier subasta de primer precio atraerá a la subasta algo más que sólo al licitador de bajo costo.

La colusión hace que los proveedores no deseen realizar la función de la cadena de suministro y que eleven sus ofertas por encima de lo que sería apropiado dado su costo. Éste es a menudo el caso en subastas multiunitarias, en las cuales el comprador desea que los proveedores oferten sobre una cierta cantidad de la función de la cadena de suministro. En *subastas holandesas multiunitarias*, el comprador comienza anunciando un precio bajo y luego lo eleva poco a poco hasta que un proveedor está dispuesto a proporcionar una unidad de los bienes o servicios. El precio se eleva lentamente hasta que todos los proveedores se comprometen a abastecer todas las unidades de productos o servicios deseadas por el comprador. En esta subasta cada unidad se suministra a un precio diferente. En una *subasta inglesa multiunitaria*, el comprador inicia con un precio alto y los licitadores anuncian la cantidad que desean suministrar. Si la cantidad total que los proveedores desean suministrar excede la cantidad deseada, el comprador reduce el precio hasta que la cantidad que ofrecen los proveedores es igual a la cantidad deseada. Luego todos los proveedores abastecen a este precio. Esta subasta también se conoce como *subasta de precio uniforme*. Los proveedores en cualquiera de estas subastas pueden elevar el precio final coludiéndose y formando una red de licitación que designa a un solo licitador para que participe en el proceso de subasta en nombre de toda la red. Después de la subasta inicial, la red participa en otra subasta para dividirse la cantidad asignada entre sus miembros. Un excelente análisis sobre colusión se halla en Porter (2004).

Punto clave

Los compradores deben estructurar las subastas para minimizar su costo y hacer que gane el proveedor o proveedores con el menor costo. Es probable que las subastas abiertas como la inglesa logren este resultado. Las subastas de primer precio selladas están sujetas a la maldición del ganador ya que éste se entera a posteriori de que podía haber reducido su oferta y aún así ganar. Esto hace que ajuste su oferta inicial a la alza. Los subastadores deben evitar la colusión entre licitadores y esforzarse para detectarla.

Principios básicos de negociación

En algunos casos, se ha identificado al tercero que realizará una función dada de la cadena de suministro y la compañía inicia negociaciones para establecer los términos del contrato. Es probable que la negociación dé un resultado positivo sólo si el valor que el comprador le asigne al outsourcing de la función de la cadena de suministro con este proveedor sea al menos tan grande como el valor que el proveedor le asigne a la realización de la función por parte del comprador. El valor que un proveedor le asigna a la realización de una función es influenciado por su costo así como por otras alternativas que están disponibles por su capacidad. Asimismo, el valor que el comprador asigna se ve influenciado por el costo de realizar la función en casa y el precio disponible con proveedores alternativos. La diferencia entre los valores del comprador y del vendedor se conoce como *excedente de negociación*. El objetivo de cada parte negociadora es captar la mayor cantidad posible del excedente de negociación.

Una excelente exposición de los principios de negociación está disponible en Thompson (2005). Mencionamos algunos de los puntos sobresalientes de su exposición. La primera recomendación es tener una idea clara de su propio valor y la mejor estimación posible del tercero. Una buena estimación del excedente de negociación mejora la posibilidad de un resultado exitoso. Los proveedores de Toyota a menudo han mencionado que "Toyota conoce nuestros costos mejor que nosotros", lo cual conduce a mejores negociaciones. La segunda recomendación es tratar de obtener un resultado justo con base en una división del excedente de negociación equitativa o por partes iguales, o bien dividirlo con base en las necesidades. En este caso equidad se refiere a una división del excedente en proporción a la contribución de cada parte.

Sin embargo, la clave de una negociación exitosa es lograr un resultado que beneficie a todos. Es imposible obtener un resultado equitativo si las dos partes negocian con base en una sola dimensión como el precio. En esta situación, una parte sólo puede ganar a expensas de la otra. Para crear una negociación en la que ambas partes ganen, las dos tienen que identificar más de un tema a negociar. La identificación de múltiples temas permite la oportunidad de agrandar el pastel si las dos partes tienen preferencias diferentes. Esto a menudo es más fácil de lo que aparece en una situación de cadena de suministro. Por lo común, a un comprador no sólo le interesa el precio de realizar una función de la cadena de suministro sino también la capacidad de respuesta y la calidad (dos de las dimensiones identificadas en la tabla 15-3). Si para el proveedor es más difícil reducir el precio pero le es más fácil reducir el tiempo de respuesta, entonces hay una oportunidad de una solución en la que todos ganan, en la cual el proveedor ofrece una mejor capacidad de respuesta sin modificar el precio. Thompson analiza muchos de los obstáculos en el proceso de negociación y también sugiere estrategias eficaces.

15.6 CONTRATOS, COMPARTICIÓN DEL RIESGO Y DESEMPEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Un contrato de abastecimiento especifica los parámetros que rigen la relación entre el comprador y el proveedor. Además de hacer explícitos los términos de esta relación, los contratos tienen un importante efecto en el comportamiento y desempeño de todas las etapas de una cadena de suministro. Los contratos deben diseñarse de modo que faciliten los resultados deseables de la cadena de suministro al hacer crecer su superávit y minimizar las acciones que dañan su desempeño. Un gerente debe plantearse las tres siguientes preguntas cuando diseñe un contrato de cadena de suministro.

1. ¿Cómo afectará el contrato las utilidades de la empresa y las utilidades totales de la cadena de suministro?
2. ¿Los incentivos que ofrece el contrato introducirán alguna distorsión de la información?
3. ¿Cómo influirá el contrato en el desempeño del proveedor con respecto a las principales medidas de desempeño?

Idealmente, un contrato debe estructurarse para incrementar las utilidades de la empresa y de la cadena de suministro, desalentar la distorsión de la información, y ofrecer incentivos al proveedor para mejorar el desempeño con respecto a dimensiones clave. Se presentan muchas deficiencias en el desempeño de una cadena de suministro debido a que el comprador y el proveedor son entidades diferentes, y cada una trata de optimizar sus propias utilidades.

Contratos para disponibilidad del producto y utilidades de la cadena de suministro

Las acciones interdependientes emprendidas por dos partes en una cadena de suministro a menudo producen utilidades menores que las que se podrían obtener si la cadena de suministro coordinara sus acciones con el

objetivo común de maximizar sus utilidades. Como se analizó en el capítulo 11, la doble marginación reduce las utilidades de la cadena de suministro porque su margen se divide entre las dos partes, y cada etapa toma su decisión considerando sólo su propio margen. A continuación analizamos otros casos en los que la doble marginación conduce a una pérdida de desempeño de la cadena de suministro al presentarse la incertidumbre de la demanda.

Dada la incertidumbre de la demanda, un fabricante desea que el detallista mantenga un gran inventario de su producto para garantizar que pueda satisfacerse cualquier incremento repentino de la demanda. El detallista, por otra parte, pierde dinero sobre cualquier inventario que no se venda; en consecuencia, prefiere mantener un nivel más bajo de inventario. Esta tensión conduce a un resultado subóptimo de la cadena de suministro.

En un contrato en el cual el proveedor especifica un precio fijo y el comprador decide qué cantidad comprar, la causa más común del desempeño subóptimo de la cadena de suministro es la doble marginación. El detallista decide comprar antes de que la demanda se realice y por tanto soporta toda la incertidumbre de la demanda. Si ésta es menor que el inventario del detallista, él tiene que liquidar con descuento el producto que no vendió. Dada una demanda incierta, el detallista decide qué cantidad comprar con base en su margen y el costo de tener existencias de más, como lo analizamos en el capítulo 13. El margen del detallista, sin embargo, es menor que el margen de contribución de toda la cadena detallista, mientras que el costo de tener existencias en exceso es más alto que el de toda la cadena. Por consiguiente, el detallista actúa con cautela y opta por tener un nivel de disponibilidad del producto más bajo que el óptimo para la cadena de suministro lo que conduce a una pérdida del superávit de la cadena.

Consideremos una tienda de música que vende discos compactos. El proveedor compra (o fabrica) los discos a $1 por unidad y los vende a la tienda de música a $5 por unidad. El detallista vende cada disco al consumidor final a $10. Con este precio de menudeo, la demanda del mercado está normalmente distribuida con una media de 1,000 y una desviación estándar de 300. El margen del detallista es de $5 por disco y potencialmente puede perder $5 por cada disco que no se venda. Utilizando la ecuación 13.1, es óptimo para el detallista tratar de alcanzar un nivel de servicio de 0.5 y pedir 1,000 discos. Según la ecuación 13.3, las utilidades esperadas del detallista son de $3,803 y el fabricante gana $4,000 por la venta de 1,000 discos. En cuanto a la cadena de suministro, el margen del proveedor y del detallista es de $9 y pueden perder un máximo de $1 por cada disco que no se venda. Para toda la cadena de suministro es por tanto óptimo tratar de alcanzar un nivel de servicio de 0.9 y almacenar 1,384 discos. La utilidad esperada de la cadena de suministro en este caso es de $8,474. La tienda de música actúa entonces con cautela y mantiene una cantidad de discos menor que la que sería óptima para la cadena de suministro. Como resultado, la cadena de suministro obtiene $670 menos de lo que obtendría si el proveedor y el detallista trabajaran juntos.

Para mejorar las utilidades totales, el proveedor debe diseñar un contrato que anime al comprador a comprar más e incrementar el nivel de disponibilidad de producto. Esto requiere que el proveedor comparta una parte de la incertidumbre de la demanda del comprador. Los siguientes son tres contratos que incrementan las utilidades totales al hacer que el proveedor comparta una parte de la incertidumbre de la demanda del comprador:

1. Contratos de recompra o devoluciones
2. Contratos de compartición de los ingresos
3. Contratos de cantidad flexible

Ilustramos cada uno de los tres contratos con el ejemplo de la tienda de música y analizamos su desempeño en términos de las tres preguntas planteadas con anterioridad.

CONTRATOS DE RECOMPRA. Una cláusula de recompra o devoluciones en un contrato permite al detallista devolver el inventario que no se venda hasta una cantidad especificada, a un precio previamente acordado. En un *contrato de recompra* el fabricante especifica un precio de mayoreo c junto con un precio de recompra b al cual el detallista puede devolver las unidades que no se vendieron al final de la temporada. Suponemos que el fabricante puede rescatar $\$s_M$ por las unidades que el detallista devuelve. El costo del fabricante es de v por unidad producida. El precio de menudeo es p.

La cantidad de pedido óptima O^* para un detallista en respuesta a un contrato de recompra se evalúa con las ecuaciones 13.1 y 13.2, donde el valor de rescate para el detallista es $s = b$. El costo de tener existencias de más para el detallista es $C_o = c - b$, y el costo de tener existencias de menos es $C_u = p - c$.

Utilizando la ecuación 13.1, el nivel de servicio óptimo que el detallista pretende es $CSL^* = (p\text{-}c)/(p\text{-}b)$. Utilizando la ecuación 13.2, el tamaño óptimo del pedido del detallista es $O^* = NORMINV(CSL^*, \mu, \sigma)$. La utilidad esperada por el detallista se evalúa utilizando la ecuación 13.3 con el valor de rescate igual al precio de recompra b. La utilidad esperada por el fabricante depende de las existencias que el detallista (evaluada con la ecuación 13.4) tenga devueltas. Obtenemos

$$\text{Utilidad esperada por el fabricante} = O'(c - v) - (b - s_M) \times \text{existencias de más esperadas por el detallista}$$

Continuando con el ejemplo de la tienda de música, tenemos un costo de producción $v = \$1$, precio de mayoreo $c = \$5$, precio de menudeo $p = \$10$ y el precio de rescate del fabricantes de los artículos que no se venden $s_M = 0$. Se supone que la demanda detallista a un precio de menudeo de \$10 está normalmente distribuida, con una media de $\mu = 1{,}000$ y una desviación estándar $\sigma = 300$. Recordemos que sin una cláusula de recompra, es decir $b = 0$, el detallista considera que es óptimo tratar de alcanzar un nivel de servicio de $CSL^* = 0.5$ y pedir $O^* = 1{,}000$ unidades ya que el costo del exceso de inventario es $C_o = c - b = 5 - 0 = \$5$ y el costo del déficit de inventario es $C_u = p - c = 10 - 5 = \$5$. Si el proveedor de la tienda de música acepta recomprar los discos que no se vendan a $b = \$3$ por disco, el costo del exceso de inventario para el detallista por cada disco que no se vende se reduce de \$5 a \$2 $(5 - 3)$ mientras que el costo del déficit de inventario permanece en \$5. La presencia de la cláusula de recompra hace que sea óptimo para el detallista incrementar el nivel de servicio de 0.5 a 5 $(5 + 2) = 0.71$ y el tamaño del pedido de 1,000 a 1,170. Este cambio produce una mayor disponibilidad del producto y mayores utilidades tanto para el detallista (\$4,286 en lugar de \$3,803) como para el proveedor (\$4,009 en vez de \$4,000) como se muestra en la tabla 15-4 (construida con la hoja de trabajo *Table15-4* en la hoja de cálculo *Ch15Contracts*). Está claro que las utilidades del detallista se incrementan debido a que su costo del exceso de inventario se ha reducido. A pesar de que recompra el inventario que no se vendió a \$3, las utilidades del proveedor se incrementan porque el detallista, en promedio, vende más producto (sobre el cual el proveedor obtiene \$4 por unidad) como se muestra en la tabla 15-4. Los contratos de recompra son más eficaces para productos con un costo variable bajo. Algunos ejemplos incluyen, música, software, libros, revistas y periódicos.

En la tabla 15-4 observamos que el uso de contratos de recompra incrementa las utilidades totales de la cadena en cerca de 20% cuando el precio de mayoreo es de \$7 por disco. Con un precio de mayoreo fijo, el incremento del precio de recompra siempre incrementa las utilidades del detallista. En general, existe un precio de recompra positivo que es una fracción del precio de mayoreo, al cual el fabricante obtiene una mayor utilidad en comparación a no ofrecer recompra. También observamos que las recompras incrementan las utilidades del fabricante conforme el margen de éste se incrementa. En la tabla 15-4 vemos que las recompras son más útiles para el fabricante cuando el precio de mayoreo es de \$7 con respecto a cuando el precio de

Tabla 15-4 Tamaños de pedido y utilidades en una cadena de suministro de música conforme a diferentes contratos de recompra

Precio de mayoreo *c*	Precio de recompra *b*	Tamaño de pedido óptimo de la tienda de música	Utilidad esperada de la tienda de música	Devoluciones esperadas por el proveedor	Utilidad esperada por el proveedor	Utilidad esperada de la cadena de suministro
\$5	\$0	1,000	\$3,803	120	\$4,000	\$7,803
\$5	\$2	1,096	\$4,090	174	\$4,035	\$8,125
\$5	\$3	1,170	\$4,286	223	\$4,009	\$8,295
\$6	\$0	924	\$2,841	86	\$4,620	\$7,461
\$6	\$2	1,000	\$3,043	120	\$4,761	\$7,804
\$6	\$4	1,129	\$3,346	195	\$4,865	\$8,211
\$7	\$0	843	\$1,957	57	\$5,056	\$7,013
\$7	\$4	1,000	\$2,282	120	\$5,521	\$7,803
\$7	\$6	1,202	\$2,619	247	\$5,732	\$8,351

mayoreo es de $5. Por tanto, cuanto mayor sea el margen del fabricante, más se beneficiará con el uso de algún mecanismo como las recompras.

Con un precio de mayoreo fijo, al aumentar el precio de recompra el detallista pide más y también devuelve más. En nuestro análisis en la tabla 15-4 no consideramos el costo asociado con una devolución. Conforme el costo asociado con una devolución se incrementa, los contratos de recompra se vuelven menos atractivos ya que el costo de las devoluciones reduce las utilidades de la cadena de suministro. Si los costos de devolución son altos, los contratos de recompra pueden reducir las utilidades totales de la cadena de suministro mucho más que sin ellos.

En 1932, Viking Press fue el primer editor de libros en aceptar devoluciones. En la actualidad, los contratos de recompra son comunes en el industria editorial, y los editores aceptan los libros que los detallistas no venden. Para minimizar el costo asociado con una devolución, los detallistas no tienen que devolver el libro, sino sólo la cubierta. Cuando los editores pueden verificar las ventas del detallista electrónicamente, nada se tiene que devolver. El objetivo en ambos casos es que el editor compruebe que el libro no se vendió, lo que reduce el costo de la devolución. A lo largo de los años se ha debatido mucho sobre el impacto de la política de devoluciones de los editores en las utilidades de la industria. Nuestro análisis justifica hasta cierto grado el enfoque adoptado por los editores.

Punto clave

Los fabricantes pueden utilizar contratos de recompra para incrementar sus propias utilidades y las utilidades totales de la cadena de suministro. Las recompras animan a los detallistas a incrementar el nivel de disponibilidad del producto.

En algunos casos los fabricantes utilizan subsidios del costo de mantenimiento del inventario o protección de precios para alentar a los detallistas a pedir más. Con los *subsidios del costo de retención*, los fabricantes pagan a los detallistas una cierta cantidad por cada unidad mantenida en el inventario durante un periodo dado. Los subsidios del costo de retención predominan en las cadenas de suministro automotrices. En la industria de alta tecnología, en la cual los productos pierden valor con rapidez, los fabricantes comparten el riesgo de que el producto se vuelva obsoleto al ofrecer *apoyo en los precios* a los detallistas. Muchos fabricantes garantizan que si reducen los precios, también reducirán los precios de todos los inventarios que el detallista mantenga en ese momento y le compensarán como corresponda. Por consiguiente, el costo para el detallista de mantener exceso de inventario se limita al costo del capital y del almacenamiento físico y no incluye la obsolescencia, la cual puede ser de más de 100% al año para productos de alta tecnología. El detallista incrementa por tanto el nivel de disponibilidad del producto al darse el apoyo en los precios. Tanto los subsidios al costo de mantenimiento como el apoyo en los precios son formas de recompra.

Una desventaja de la cláusula de recompra (o de cualquier práctica equivalente como el subsidio al costo de retención del inventario) es que hace que el exceso de inventario tenga que venderse a precio de rescate o desecharse. La tarea de devolver el producto que no se vende incrementa los costos de la cadena de suministro. El costo de las devoluciones se puede eliminar si el fabricante otorga al detallista un margen de descuento y le permite vender el producto con un descuento considerable. Los editores en la actualidad por lo general no les piden a los detallistas que devuelvan los libros que no se vendan. En vez de eso les otorgan un margen de descuento por ellos. Los detallistas los rebajan y los venden con un descuento considerable.

Para un nivel dado de disponibilidad de producto del lado del detallista, la presencia de una cláusula de reventa también puede afectar negativamente las ventas porque el detallista se esfuerza menos por vender de lo que haría sin las recompras. La reducción del esfuerzo del detallista ante la recompra ocurre debido a que su pérdida por el inventario que no se vende es más alta que cuando no hay recompra, lo que conduce a un mayor esfuerzo de ventas de los productos sin recompra. El proveedor puede contrarrestar la reducción del esfuerzo de ventas limitando la cantidad de recompra permitida.

La estructura de una cláusula de recompra hace que la toda la cadena de suministro reaccione ante el pedido colocado por el detallista y no ante la demanda real del cliente. Si un proveedor le vende a varios detallistas, produce con base en los pedidos colocados por cada uno. Cada detallista basa sus pedidos en su costo de mantener inventario de más o menos (vea el capítulo 13). Después de que se concretan las ventas reales, cada detallista devuelve al proveedor el inventario que no vendió. Como resultado, la estructura de la

cláusula de recompra incrementa la distorsión de la información cuando un proveedor le vende a múltiples detallistas. Sin embargo, al final de la temporada de ventas el proveedor obtiene información sobre las ventas reales. La distorsión de la información se produce principalmente por el hecho de que el inventario está desagregado con los detallistas. La distorsión de la información se puede reducir si el inventario se centraliza con el proveedor y se envía solamente lo que se requiera a los detallistas. Con el inventario centralizado, el proveedor puede explotar la independencia de la demanda a través de los detallistas para mantener bajo un nivel de inventario. En la práctica, sin embargo, la mayoría de los contratos tienen inventario descentralizado con los detallistas. Como resultado, hay un alto nivel de distorsión de la información.

Punto clave

Los contratos de recompra conducen a un menor esfuerzo del detallista en caso de exceso de inventario y distorsión incrementada de la información dentro de la cadena de suministro. Las recompras se limitan mejor a productos con pequeño costo de producción por unidad.

CONTRATOS CON COMPARTICIÓN DE LOS INGRESOS. En contratos con *compartición de los ingresos*, el fabricante cobra al detallista un bajo precio de mayoreo c, y comparte una fracción f del ingreso del detallista. Aun cuando no se permiten devoluciones, el bajo precio de mayoreo reduce el costo para el detallista en caso de que se presente un exceso de inventario. El detallista por tanto incrementa el nivel de disponibilidad del producto, lo que da por resultado utilidades más altas tanto para el fabricante como para el detallista.

Supongamos que el costo de producción del fabricante es v; el detallista cobra un precio de menudeo p y puede obtener un valor de rescate de s_R por las unidades sobrantes. La cantidad O^* pedida por el detallista se evalúa con las ecuaciones 13.1 y 13.2, donde el costo de tener existencias insuficientes es $C_u = (1 - f)p - c$ y el costo de tener un exceso de existencias es $C_o = c - s_R$. Por tanto obtenemos

$$CSL^* = \text{Probabilidad}(\text{demanda} \leq O^*) = \frac{C_u}{C_u + C_o} = \frac{(1-f)p - c}{(1-f)p - s_R}$$

El fabricante obtiene el precio de mayoreo c por cada unidad adquirida por el detallista y una parte del ingreso por cada unidad vendida por el detallista. El exceso de existencias esperado con el detallista se obtiene con la ecuación 13.4. Las utilidades del fabricante se evalúan por tanto como

$$\text{Utilidad esperada de los fabricantes} = (c - v)O^* + fp(O^* - \text{Exceso de existencias esperadas con el detallista})$$

El detallista paga un precio de mayoreo c por cada unidad adquirida y obtiene un ingreso de $(1 - f)p$ por cada unidad vendida y un ingreso de s_R por cada unidad excedente. La utilidad esperada del detallista se evalúa por tanto como

$$\text{Utilidad esperada del detallista} = (1 - f)\,p\,(O^* \text{ Exceso de existencias esperadas con el detallista} + s_R \times \text{Exceso de existencias esperadas con el detallista} - cO^*$$

Retomamos el ejemplo de la tienda de música. El proveedor acepta vender cada disco a la tienda de música a $c = \$1$, pero ésta acepta compartir 45% del ingreso por cada disco vendido. Si el precio de cada disco es de \$10, el proveedor obtiene \$4.5 por cada disco vendido y la tienda de música se queda con \$5.5. Recordemos que a un precio de menudeo de \$10, la demanda de discos está normalmente distribuida con una media de $\mu = 1{,}000$ y una desviación estándar de $\sigma = 300$. El costo de la tienda de música por el exceso de existencias es $C_o = c - s_R = 1 - 0 = \$1$ y el costo por existencias insuficientes es $C_u = (1 - f)p - c = (1 - 0.45) \times 10 - 1 = \$4.5$. La tienda de música se propone alcanzar un nivel de servicio de $CSL^* = 4.5/(4.5 + 1) = 0.818$ u 81.8% (vea la ecuación 13.1) y pide 1,273 discos. Observemos que éste es mucho mayor que cuando el precio de mayoreo era de \$5 y no había compartición de ingresos. El incremento del tamaño del pedido ocurre debido a que el detallista pierde sólo \$1 por cada disco que no se vende (en lugar de \$5 por disco sin compartir el ingreso), mientras que obtiene un margen de \$4.5 por cada disco que vende.

La tabla 15-5 (construida con la hoja de trabajo *Table15-5* en la hoja de cálculo *Ch15Contracts*) proporciona el resultado en términos de tamaños de pedido y utilidades para diferentes precios de mayoreo y fracciones de compartición del ingreso f. En las tablas 15-4 y 15-5 observamos que la compartición de

Tabla 15-5 Tamaños de pedido y utilidades en la cadena de suministro de música bajo diferentes contratos de compartición de ingresos

Precio de mayoreo *c*	Fracción de compartición del ingreso *f*	Tamaño de pedido óptimo de la tienda de música	Exceso de existencias esperadas en la tienda de música	Utilidad esperada por la tienda de música	Utilidad esperada por el proveedor	Utilidad esperada por la cadena de suministro
$1	0.30	1,320	342	$5,526	$2,934	$8,460
$1	0.45	1,273	302	$4,064	$4,367	$8,431
$1	0.60	1,202	247	$2,619	$5,732	$8,350
$2	0.30	1,170	223	$4,286	$4,009	$8,295
$2	0.45	1,105	179	$2,881	$5,269	$8,150
$2	0.60	1,000	120	$1,521	$6,282	$7,803

ingresos permite que tanto el fabricante como el detallista incrementen sus utilidades sin recompras en comparación con el caso en que el mayorista vende a un precio fijo de $5 sin recompras. Cuando cobra un precio de mayoreo de $5, la utilidad del proveedor es de $4,000 y la de la tienda de música es de $3,803 (vea la tabla 15-4). Con un contrato de compartición de ingresos que tiene un precio de mayoreo de $c = \$1$ y el proveedor comparte 45% del ingreso (el proveedor obtiene un ingreso de $4.5 por cada disco vendido), sin embargo, el proveedor obtiene una utilidad de $4,367 y la del detallista es de $4,064.

Los contratos de compartición de ingresos también dan por resultado que el detallista se esfuerce menos en comparación con el caso en que paga un precio de mayoreo por adelantado y conserva todos los ingresos de una venta. La caída del esfuerzo se produce debido a que el detallista obtiene sólo una fracción del ingreso de cada venta. Una ventaja de los contratos de compartición de ingresos sobre los de recompra es que no es necesario devolver producto, por tanto se elimina el costo de las devoluciones. Los contratos de compartición de ingresos son más adecuados para productos de bajo costo variable y un alto costo de devolución. Un buen ejemplo de contratos de compartición de ingresos fue el implementado entre Blockbuster y los estudios de cine por la renta de videos. Un estudio vende cada casete a Blockbuster a un precio bajo y luego comparte el ingreso generado por cada renta. Dado el precio bajo, Blockbuster adquirió muchas copias y el resultado fue más rentas y más utilidades tanto para Blockbuster como para el estudio.

El contrato de compartición de ingresos requiere una infraestructura de información que permita al proveedor monitorear las ventas del detallista. Tal infraestructura puede ser cara de construir. En consecuencia, los contratos de compartición de ingresos pueden ser difíciles de administrar para un proveedor que vende a muchos compradores pequeños.

Como ocurre en los contratos de recompra, los contratos de compartición de ingresos también provocan que la cadena de suministro produzca de acuerdo con los pedidos de los detallistas y no de acuerdo con la demanda real del cliente. Esta distorsión de la información produce un exceso de inventario en la cadena de suministro y una mayor disparidad de la oferta y la demanda. La distorsión de la información aumenta conforme crece el número de detallistas a los que el proveedor les vende. Como ocurre con los contratos de recompra, la distorsión de la información producida por los contratos de compartición del ingreso se puede reducir si los detallistas reservan capacidad de producción o inventario con el proveedor en lugar de comprar producto y mantenerlo en el inventario ellos mismos. Esto permite la agregación de la variabilidad a través de múltiples detallistas, y el proveedor tiene que mantener un bajo nivel de capacidad o de inventario.

Punto clave

Los contratos de compartición del ingreso contrarrestan la doble marginación al reducir el costo por unidad cobrado al detallista, lo que efectivamente reduce el costo del exceso de inventario. Los contratos de compartición del ingreso incrementan la distorsión de la información y hacen que el detallista se esfuerce menos en caso de que se produzcan excedentes, como ocurre con los contratos de recompra.

En la práctica, sin embargo, la mayoría de los contratos de compartición del ingreso se implementan de tal modo que el detallista compra y mantiene inventario.

CONTRATOS DE CANTIDAD FLEXIBLE Bajo los *contratos de cantidad flexible*, el fabricante permite al detallista cambiar la cantidad pedida (con límites) después de observar la demanda. Si un detallista pide O unidades, el fabricante se compromete a suministrar $Q = (1 + \alpha)O$ unidades, mientras que el detallista se compromete a comprar al menos $q = (1 - \beta)O$ unidades. Tanto α como β oscilan entre 0 y 1. El detallista puede comprar cualquier cantidad entre q y Q unidades, según la demanda que observe. Estos contratos son similares a los de recompra en que el fabricante asume ahora una parte del riesgo de tener exceso de inventario. Debido a que no se requieren devoluciones, estos contratos pueden ser más eficaces que los de recompra cuando el costo de las devoluciones es alto. Cuando el proveedor le vende a múltiples detallistas estos contratos son más efectivos que los contratos de recompra dado que permiten que el proveedor agregue incertidumbres a los múltiples detallistas y así baje el nivel del inventario excedente. Los contratos de cantidad flexible incrementan la cantidad promedio que el detallista compra y pueden aumentar las utilidades de la cadena de suministro cuando están bien estructurados.

Supongamos que el fabricante incurre en un costo de producción de $\$v$ por unidad y cobra un precio de mayoreo de $\$c$ al detallista. El detallista a su vez le vende a los clientes a un precio de $\$p$. El detallista obtiene un valor de rescate de s_R por las unidades sobrantes. El fabricante obtiene un valor de rescate de s_M por las unidades sobrantes. Si la demanda del detallista está normalmente distribuida, con una media de μ y una desviación estándar de σ, podemos evaluar el efecto de un contrato de cantidad flexible. Si el detallista pide O unidades, el fabricante se compromete a suministrarle Q unidades. Por consiguiente, suponemos que el fabricante produce Q unidades. El detallista compra q unidades si la demanda D es menor que q; D unidades si la demanda D se encuentra entre q y Q, y Q unidades si la demanda D es mayor que Q. Observemos que en las siguientes fórmulas F_S es la función de distribución acumulada normal estándar y f_S es la función de densidad normal estándar que explicamos en el apéndice 12A. Por tanto obtenemos

$$\text{Cantidad esperada comprada por el detallista, } Q_R = qF(q) + Q[1 - F(Q)] + \mu\left[F_s\left(\frac{Q-\mu}{\sigma}\right) - F_s\left(\frac{q-\mu}{\sigma}\right)\right] - \sigma\left[f_s\left(\frac{Q-\mu}{\sigma}\right) - f_s\left(\frac{q-\mu}{\sigma}\right)\right]$$

$$\text{Cantidad esperada vendida por el detallista, } D_R = Q[1 - F(Q)] + \mu F_s\left(\frac{Q-\mu}{\sigma}\right) - \sigma f_s\left(\frac{q-\mu}{\sigma}\right)$$

$$\text{Exceso de inventario esperado con el fabricante,} = Q_R - D_R$$

$$\text{Utilidad esperada por el detallista} = D_R \times p + (Q_R - D_R)s_R - Q_R \times c$$

$$\text{Utilidad esperada por el fabricante} = Q_R \times c + (Q - Q_R)s_M - Q \times v$$

En nuestro ejemplo la tienda de música colocaría un pedido inicial de, digamos, 1,000 discos. Cerca de la fecha de surtido del pedido, cuando la tienda tiene una mejor idea de la demanda real, se le permitiría modificar su pedido a cualquier cantidad entre (digamos) 950 y 1,050. En este contrato el detallista modifica su pedido conforme tiene una mejor idea del mercado al paso del tiempo. El proveedor a su vez envía sólo la cantidad de pedido modificada. La cantidad pedida por el detallista está más de acuerdo con la demanda real, lo que produce mayores utilidades para la cadena de suministro. Para un proveedor, el contrato de cantidad flexible es conveniente si tiene capacidad flexible que pueda usar para producir al menos la parte incierta del pedido después de que el detallista ha decidido modificarlo. Un contrato de cantidad flexible también es eficaz si un proveedor le vende a múltiples detallistas con demanda independiente ya que le permite agregar las incertidumbres.

En la tabla 15-6 mostramos el efecto de diferentes contratos de cantidad flexible en la rentabilidad de la cadena de suministro de música con la demanda distribuida normalmente, una media de $\mu = 1{,}000$ y una desviación estándar de $\sigma = 300$ (vea la hoja de trabajo *Table15-6* en la hoja de cálculo *Ch15Contracts*).

Tabla 15-6 Utilidades en la cadena de suministro de música bajo diferentes contratos de cantidad flexible

α	β	Precio de mayoreo *c*	Tamaño del pedido *O*	Compra esperada por el detallista	Venta esperada por el detallista	Utilidades esperadas por el detallista	Utilidades esperadas por el proveedor	Utilidad esperada por la cadena de suministro
0.00	0.00	$5	1,000	1,000	880	$3,803	$4,000	$7,803
0.05	0.05	$5	1,017	1,014	966	$4,038	$4,004	$8,416
0.20	0.20	$5	1,047	1,023	967	$4,558	$3,858	$8,416
0.00	0.00	$6	924	924	838	$2,841	$4,620	$7,461
0.20	0.20	$6	1,000	1,000	955	$3,547	$4,800	$8,347
0.30	0.30	$6	1,021	1,006	979	$3,752	$4,711	$8,463
0.00	0.00	$7	843	843	786	$1,957	$5,056	$7,013
0.20	0.20	$7	947	972	936	$2,560	$5,666	$8,226
0.40	0.40	$7	1,000	1,000	987	$2,873	$5,600	$8,473

Suponemos un precio de mayoreo de $c = \$5$ y un precio de venta de $p = \$10$. En todos los contratos $\alpha = \beta$. Los resultados que aparecen en la tabla 15-6 se obtienen en dos pasos. Primero fijamos el valor de α y β (digamos $\alpha = \beta = 0.2$). El siguiente paso es identificar el tamaño de pedido óptimo para el detallista. Esto se hace con Excel seleccionando un tamaño de pedido que maximice las utilidades esperadas por el detallista dadas α y β. Por ejemplo, cuando $\alpha = \beta = 0.05$ y $c = \$5$, las utilidades del detallista se maximizan con un tamaño de pedido de $O = 1{,}017$. Con este tamaño de pedido, el proveedor se compromete a suministrar hasta $Q = (1 + 0.05) \times 1{,}017 = 1{,}067$ discos y un compromiso del detallista de comprar al menos $q = (1 - 0.05) \times 1{,}017 = 966$ discos. En nuestro análisis suponemos que el proveedor produce $Q = 1{,}067$ discos y envía el número preciso (entre 966 y 1,067) demandado por el detallista. Tal política produce utilidades para el detallista de $4,038 y de $4,004 para el proveedor.

En la tabla 15-6 observamos que los contratos de cantidad flexible permiten que tanto el fabricante como el detallista aumenten sus utilidades. Observamos que conforme el fabricante incrementa el precio de mayoreo, es óptimo para él ofrecer una mayor flexibilidad en la cantidad al detallista.

Los contratos de cantidad flexible son comunes para componentes en la industria de la electrónica y la computación. En el análisis previo consideramos contratos de cantidad flexible relativamente simples. Benetton ha utilizado con éxito contratos de cantidad flexible complejos con sus detallistas para incrementar las utilidades de la cadena de suministro. Describimos un contrato como ese en el contexto de prendas tejidas de colores.[2]

Siete meses antes de la entrega, a los detallistas de Benetton se les pidió que colocaran sus pedidos. Consideremos un detallista que coloca un pedido de 100 suéteres de cada color rojo, azul y amarillo. Entre uno y tres meses antes de la entrega, los detallistas pueden modificar hasta 30% de la cantidad pedida en cualquier color y asignarla a otro color. Sin embargo, en esta etapa no se podía ajustar el pedido agregado. Potencialmente, el detallista podría cambiar el pedido a 70 suéteres rojos, 70 azules y 160 amarillos. Después del inicio de la temporada de ventas, a los detallistas se les permite pedir hasta 10% de su pedido previo en cualquier color. Igualmente, el detallista podría pedir otros 30 suéteres amarillos. En este contrato de cantidad flexible los detallistas de Benetton tenían una flexibilidad de hasta 10% en el pedido agregado a través de todos los colores y de cerca de 40% en cada color individual. Esta flexibilidad es consistente con el hecho de que los pronósticos agregados son más precisos que los pronósticos de colores individuales. Como resultado, los detallistas podían equiparar mejor la disponibilidad del producto con la demanda. Benetton fabricaba la parte garantizada del pedido con un proceso de producción barato pero con un largo tiempo de espera. La parte flexible del pedido (cerca de 35%) se fabricaba usando el aplazamiento. El resultado fue una mejor equiparación de la oferta con la demanda a un menor costo que sin dicho contrato. El contrato de cantidad flexible permitió tanto a los detallistas como a Benetton aumentar sus utilidades.

[2] Vea Heskett y Singorrelli (1984).

Si el proveedor tiene capacidad flexible, un contrato de este tipo incrementa las utilidades de toda la cadena de suministro y también cada parte. El contrato de cantidad flexible requiere que el proveedor pueda disponer de inventario o de capacidad flexible excedente. Si el proveedor le vende a múltiples detallistas con demanda independiente, la agregación del inventario conduce a un inventario excedente más pequeño (vea el capítulo 12) con un contrato de cantidad flexible en comparación con uno de recompra o de compartición del ingreso. Los inventarios pueden reducirse aún más si el proveedor tiene capacidad flexible excedente. Por tanto se prefieren contratos de capacidad flexible para productos con alto costo marginal o cuando se dispone de exceso de capacidad. Para que sean eficaces, los contratos de cantidad flexible requieren que el detallista sea hábil para recopilar información sobre el mercado y para mejorar sus pronósticos cerca de la fecha de venta.

Con respecto a los contratos de recompra y de compartición del ingreso, los contratos de cantidad flexible tienen menos distorsión de la información. Consideremos el caso con múltiples detallistas. Con un contrato de recompra, la cadena de suministro debe producir con base en los pedidos de los detallistas colocados mucho antes de que surja la demanda real. Esto conduce a un inventario excedente desagregado con cada detallista. Con un contrato de capacidad flexible los detallistas especifican sólo el rango dentro del cual comprarán mucho antes de que surja la demanda real. Si la demanda con varios detallistas es independiente, no es necesario que el proveedor planee la producción hasta el extremo superior del rango de pedido de cada detallista. Puede agregar la incertidumbre de todos los detallistas y construir un bajo nivel de inventario excedente del que se requeriría si el inventario estuviera desagregado con cada detallista. Los detallistas entonces colocan el pedido cerca de la fecha de venta, cuando la demanda es más visible y menos incierta. La agregación de la incertidumbre produce menos distorsión de la información con un contrato de cantidad flexible.

Al igual que los demás contratos analizados, los contratos de cantidad flexible reducen el esfuerzo de los detallistas. De hecho, cualquier contrato que haga que los detallistas proporcionen un alto nivel de disponibilidad de producto por no hacerlos totalmente responsables del exceso de inventario, hará que se esfuercen menos por lograr un nivel dado de inventario.

Punto clave

Los contratos de cantidad flexible contrarrestan la doble marginación porque permiten al detallista modificar el pedido con base en pronósticos mejorados hechos cerca de la fecha de venta. Estos contratos producen menos distorsión de la información que los contratos de recompra o de compartición del ingreso cuando un proveedor le vende a múltiples compradores o tiene capacidad flexible excedente.

Contratos para coordinar los costos de la cadena de suministro

Las diferencias en los costos del comprador y del proveedor también llevan a decisiones que incrementan los costos totales de la cadena de suministro. Un ejemplo es la decisión del tamaño del lote de reabastecimiento tomada por el comprador, como lo estudiamos en el capítulo 11. El comprador decide su tamaño de lote óptimo con base en su costo fijo por lote y el costo de retener inventario. El comprador no toma en cuenta los costos del proveedor. Si éste tiene un alto costo fijo por lote, el tamaño de lote óptimo del comprador incrementa el costo total del proveedor y de la cadena de suministro. En tal situación, el proveedor puede usar un contrato de descuento por cantidad para animar al comprador a pedir en tamaños de lote que minimicen los costos totales (vea el capítulo 11). El objetivo de tal contrato es hacer que el detallista compre lotes grandes que reduzcan el costo del proveedor y de toda la cadena de suministro.

Un contrato de descuento por cantidad reduce los costos totales pero conduce a mayores tamaños de lote y por tanto a mayores niveles de inventario en la cadena de suministro. En general se justifica sólo para productos de consumo para los cuales el proveedor tiene altos costos fijos por lote. Es importante modificar los términos del contrato conforme el proveedor realice mejoras operacionales, lo que reduce los costos fijos por lote.

Los contratos de descuento por cantidad incrementan la distorsión de la información en la cadena de suministro ya que dichos contratos aumentan la colocación de pedidos por lotes. Los detallistas colocan pedidos con menos frecuencia y cualquier variación de la demanda se exagera cuando se colocan pedidos. El proveedor recibe información con menos frecuencia y todas las variaciones se incrementan debido a la colocación de pedidos por lotes. Esta distorsión de la información se analiza con mayor detalle en el capítulo 10.

Punto clave

Los descuentos por cantidad pueden coordinar los costos de la cadena de suministro si el proveedor tiene grandes costos fijos por lote. No obstante, aumentan la distorsión de la información a consecuencia de la colocación de pedidos por lotes.

Contratos para incrementar el esfuerzo del agente

En muchas cadenas de suministro los agentes actúan en representación de un mandante y los esfuerzos de los agentes afectan la recompensa del mandante. Como un ejemplo, consideremos a un distribuidor de automóviles (el agente) que vende autos de Chrysler (el mandante). El distribuidor también vende otras marcas y autos usados. Cada mes, el distribuidor reparte su esfuerzo de ventas (publicidad, promociones, etcétera) entre todas las marcas que vende y los autos usados. Las ganancias de Chrysler se basan en las ventas de sus marcas, las cuales a su vez se ven afectadas por el esfuerzo ejercido por el distribuidor. Las ventas se pueden observar de manera directa, mientras que el esfuerzo es difícil de observar y medir. Dada la doble marginación, el distribuidor siempre realiza menos esfuerzo que el óptimo desde la perspectiva de Chrysler y la cadena de suministro. Por tanto, Chrysler debe ofrecer un contrato de incentivos que motive al distribuidor a incrementar el esfuerzo.

En teoría, una tarifa en dos partes ofrece los incentivos correctos para que el distribuidor ejerza la cantidad apropiada de esfuerzo. En una tarifa en dos partes, Chrysler extrae sus utilidades por adelantado como derechos de franquicia y después le vende al distribuidor automóviles al costo. El margen del distribuidor es entonces el mismo que el de la cadena de suministro, y el distribuidor ejerce la cantidad correcta de esfuerzo.

Otro contrato, observado con más frecuencia en la práctica, aumenta el margen del distribuidor a medida que las ventas traspasan ciertos umbrales. Chrysler ofreció dicho contrato a los distribuidores en el primer trimestre de 2001, el cual estaba estructurado en los términos generales siguientes. Los distribuidores mantendrían el margen obtenido con los clientes si las ventas del mes se ubicaban 75% por debajo del objetivo previamente acordado. Sin embargo, si las ventas alcanzaban o excedían 75% pero no llegaban a 100%, el distribuidor obtendría $150 adicionales por cada automóvil vendido. Si las ventas alcanzaban o sobrepasaban 100% pero no llegaban a 110%, el distribuidor obtendría $250 adicionales por cada automóvil vendido. Si las ventas alcanzaban o sobrepasaban 110%, el distribuidor obtendría $500 adicionales por cada automóvil vendido. La expectativa de Chrysler era que al aumentar el margen a los umbrales más altos, el distribuidor tendría el incentivo de aumentar el esfuerzo para vender automóviles de Chrysler.

Aunque es evidente que los contratos de umbral motivan al distribuidor para que trate de alcanzar umbrales más altos, pueden distorsionar significativamente la información porque alientan al agente a exacerbar la variabilidad de la demanda. El primer mes después de que se anunció el nuevo contrato, la industria automotriz estadounidense experimentó una caída en las ventas. Sin embargo, la caída en las ventas de Chyrsler fue el doble del promedio de la industria. Hay dos causas potenciales para este comportamiento. La primera es que según el contrato, el distribuidor gana más dinero vendiendo 900 automóviles en un mes y 1,000 al siguiente, que si vende 1,000 cada mes. El distribuidor tiene el incentivo de desplazar la demanda a través del tiempo para lograr este resultado, y así se incrementa la distorsión de la información y la variación de la demanda observada. La segunda causa es que dentro de la primera semana del mes, el distribuidor tiene idea del rango del umbral que probablemente alcanzará. Por ejemplo, si el distribuidor cree que puede traspasar fácilmente el umbral de 75% pero que es poco probable que traspase el de 100%, reducirá su esfuerzo durante el mes y lo guardará para después, ya que el beneficio marginal de vender un automóvil adicional es de sólo $150. En contraste, si la demanda del mes es alta y el distribuidor cree que puede traspasar con facilidad el umbral de 100%, es probable que realice un esfuerzo adicional para alcanzar el umbral de 110% ya que el beneficio marginal por alcanzar dicho umbral es alto. Por tanto, el contrato de incentivos de Chrysler aumenta la variación del esfuerzo del distribuidor al exagerar aún más cualquier variación de la demanda existente.

La distorsión de la información también se observa en contratos de umbral que las compañías ofrecen a su personal de ventas. Con estos contratos se ofrecen recompensas al personal por cruzar umbrales de ventas durante un periodo específico (por ejemplo, un trimestre). El problema observado es que el esfuerzo de ventas y los pedidos alcanzan su nivel más alto durante la última o las dos últimas semanas del trimestre, cuando los vendedores tratan de cruzar el umbral. Las ventas observadas son por tanto muy irregulares

durante el trimestre. Esta distorsión de la información surge debido a que el incentivo se ofrece durante un periodo fijo, lo que hace que la última o las dos últimas semanas de cada trimestre sean un periodo de intensa actividad para todo el personal de ventas.

Dado que la distorsión de la información surge debido a los contratos de umbral, una pregunta clave es cómo puede una empresa reducir la distorsión de la información y al mismo tiempo mantener el incentivo para que el agente realice un esfuerzo extra. Un método es ofrecer incentivos de umbral a lo largo de un horizonte móvil. Por ejemplo, si una empresa ofrece a su personal de ventas incentivos semanales basados en las últimas 13 semanas, cada semana se convierte en la última del periodo de 13 semanas. Por tanto, el esfuerzo de ventas llega ser más uniforme que cuando todo el personal de ventas tiene la misma última semana para la evaluación de su bono. Dada la presencia de sistemas de planeación de recursos de una empresa (ERP, *Enterprise Resource Planning*), la implementación de un contrato con horizonte móvil es mucho más fácil ahora que antes.

Punto clave

Las tarifas en dos partes y los contratos de umbral se pueden utilizar para contrarrestar la doble marginación y aumentar el esfuerzo del agente en una cadena de suministro. Los contratos de umbral, sin embargo, aumentan la distorsión de la información y se implementan mejor con un horizonte móvil.

Contratos para inducir mejoras en el desempeño

En muchos casos un comprador desea mejorar el desempeño de un proveedor que tiene pocos incentivos para hacerlo. Un comprador con suficiente poder en la cadena de suministro puede ser capaz de obligar al proveedor a cumplir. Un comprador sin poder suficiente requiere un contrato apropiado para inducir al proveedor a mejorar el desempeño. Sin embargo, incluso para un comprador poderoso, un contrato diseñado para motivar la cooperación del proveedor produce un mejor resultado.

Pongamos por ejemplo a un comprador que desea que el proveedor mejore su desempeño al reducir el tiempo de espera de un artículo estacional. Éste es un componente importante de todas las iniciativas de respuesta rápida (QR, *Quick Response*) en una cadena de suministro. Con un tiempo de espera más corto, el comprador espera tener pronósticos más precisos y ser más capaz de igualar la oferta y la demanda. El proveedor debe realizar la mayor parte del trabajo para reducir el tiempo de espera, en tanto que el comprador recibe la mayor parte del beneficio en términos de inventarios reducidos y exceso de existencias. De hecho, el proveedor perderá ventas debido a que ahora el comprador mantendrá menos inventario de seguridad debido a los tiempos de espera más cortos y mejores pronósticos. Para inducir al proveedor a reducir el tiempo de espera, el comprador puede utilizar un *contrato de ahorros compartidos*, en el que el proveedor recibe una parte de los ahorros que resultan de acortar el tiempo de espera. En tanto que la parte de los ahorros que corresponde al proveedor compense cualquier esfuerzo que tenga que hacer, su incentivo estará alineado con el del comprador, lo que produce un resultado que beneficia a ambas partes.

Una cuestión similar se presenta cuando un comprador insta al proveedor a que mejore la calidad. Si lo logra, los costos del comprador mejoran pero se requiere un esfuerzo adicional por parte del proveedor. Una vez más, un contrato de ahorros compartidos es una buena forma de alinear los incentivos entre el comprador y el proveedor. El comprador puede compartir con el proveedor los ahorros derivados de la calidad mejorada, lo cual motivará al proveedor a mejorar la calidad a un mayor nivel del que elegiría sin los ahorros compartidos.

Otro ejemplo se presenta en el contexto de las sustancias químicas tóxicas que puede utilizar un fabricante, a quien le gustaría reducir el uso de dichas sustancias. En general, el proveedor cuenta con mejor equipo para identificar formas de reducir el uso de estas sustancias químicas ya que es su negocio principal. No tienen ningún incentivo para trabajar con el comprador en la reducción del uso de estas sustancias químicas ya que ello reducirá sus ventas. Se puede usar un contrato de ahorros compartidos para alinear los incentivos entre el proveedor y el fabricante. Si el fabricante comparte los ahorros que resultan de la reducción del uso de sustancias químicas tóxicas con el proveedor, éste se esforzará por reducir el uso de sustancias químicas en tanto que su parte de los ahorros compense la pérdida de margen por las ventas reducidas.

En general, los contratos de ahorros compartidos son eficaces para alinear los incentivos del proveedor y el comprador cuando se requiere que el primero mejore el desempeño a lo largo de una dimensión particular, y que la mayor parte de los beneficio del mejoramiento le correspondan al comprador. Un comprador poderoso puede combinar los ahorros compartidos con las penalizaciones por una falta de mejoría para motivar aún más al proveedor para que mejore el desempeño. Tales contratos incrementarán las utilidades tanto del comprador como del proveedor al mismo tiempo que permiten lograr resultados que son benéficos para la cadena de suministro.

Punto clave

Los contratos de ahorros compartidos pueden usarse para inducir el mejoramiento del desempeño de un proveedor con respecto a ciertas dimensiones, como el tiempo de espera, donde el beneficio de la mejoría es sobre todo para el comprador mientras que el esfuerzo por mejorar es principalmente del proveedor.

15.7 COLABORACIÓN EN EL DISEÑO

Dos estadísticas resaltan la importancia de la colaboración en el diseño entre un fabricante y los proveedores. Actualmente, lo común es que entre 50 y 70% del gasto de un fabricante provenga de las adquisiciones, en comparación con sólo cerca de 20% de hace varias décadas. En segundo lugar, generalmente se acepta que cerca de 80% del costo de una parte comprada se fije durante la etapa de diseño. Por tanto, es crítico que un fabricante colabore con los proveedores durante la etapa de diseño para que los costos del producto se mantengan bajos. La colaboración en el diseño puede reducir el costo del material adquirido y también los costos de logística y fabricación. La colaboración en el diseño también es importante para una compañía que trata de ofrecer variedad y personalización, ya que de no hacerlo así puede elevarse considerablemente el costo de la variedad.

Cuando se trabaja con los proveedores se puede acelerar considerablemente el tiempo de desarrollo del producto. Esto es crucial en una época en que los ciclos de vida de los productos se están acortando y en la que lanzar un producto al mercado antes que la competencia ofrece una ventaja significativa. Por último, al integrar al proveedor en la fase de diseño permite al fabricante enfocarse en la integración del sistema, lo que resulta en un producto de mayor calidad a un menor costo. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles desempeñan cada vez más el rol de integradores del sistema en lugar de diseñadores de componentes. Este método se ha utilizando incluso más extensamente en la industria de la alta tecnología.

Billington y Jager (2008) proporcionan un excelente ejemplo de innovación gracias a la colaboración. Analizan a Goldcorp, Inc., uno de los más productores de oro más grande del mundo, cuyas minas tenían un pésimo desempeño. La compañía divulgó su registro de datos geológicos completo y ofreció a las compañías un premio por el método más eficaz de extracción de oro. Dos compañías australianas unieron esfuerzos en la elaboración de una ilustración tridimensional de la mina. Los datos 3D permitieron a Goldcorp mejorar la producción de 53,000 onzas a un costo de $360 por onza en 1996, a 504,000 onzas a un costo de $59 por tonelada en 2001. El riesgo que Goldcorp afrontó cuando compartió sus datos con proveedores potenciales evidentemente rindió excelentes frutos.

Conforme los proveedores desempeñan un papel más importante en el diseño, es importante que los fabricantes también se conviertan en coordinadores del diseño en la cadena de suministro. Las descripciones de partes comunes deben estar disponibles para todas las partes implicadas en el diseño y cualquier cambio realizado por una de ellas debe comunicarse a todos los proveedores afectados. Una buena base de datos de las partes y diseños existentes puede ahorrar cantidades significativas de dinero y tiempo. Por ejemplo, cuando Johnson Controls encuentra un armazón de asiento en su base de datos que satisface todos los requerimientos del cliente, le ahorra a éste cerca de $20 millones en el gasto de diseño, desarrollo, herramental, y construcción de prototipos.

Una encuesta realizada por el Procurement and Supply Chain Benchmarking Consortium en la Michigan State University demostró de manera espectacular el impacto de la integración exitosa de los proveedores en el diseño de productos. Los esfuerzos de integración más exitosos han logrado reducir 20% los costos y mejorar la calidad en 30%, así como el tiempo para salir al mercado en 50 por ciento.

Los temas clave que deben comunicarse a los proveedores a medida que asumen una mayor responsabilidad en el diseño son el diseño para logística y el diseño para fabricación. En el primer caso se intenta reducir los costos de transporte, manejo e inventario durante la distribución mediante la adopción de medidas apropiadas durante el diseño. Para reducir los costos de transporte y manejo, el fabricante debe comunicar al diseñador los tamaños de pedido esperados de los detallistas y del consumidor final. Entonces se pueden diseñar los empaques para que los costos de transporte se reduzcan y los de manejo se minimicen. Para reducir el costo de transporte, los empaques se mantienen lo más compactos posible y también se diseñan para facilitar la estiba. Para reducir los costos de manejo, el tamaño de los empaques se diseña de modo que no haya necesidad de abrir un empaque para completar un pedido.

Para reducir los costos de inventario, el método principal consiste en diseñar el producto de modo que permita su aplazamiento y personalización masiva (vea los capítulos 12 y 13). Las estrategias de aplazamiento pretenden diseñar un producto y un proceso de producción de modo que las características que diferencian a los productos finales se introduzcan al final de la fase de fabricación. Como se explicó en el capítulo 12, Dell diseñó sus computadoras personales de modo que todos los componentes de entre los cuales los clientes pueden elegir se ensamblen después de que llega el pedido del cliente. Esto permitió a Dell disminuir los inventarios al agregarlos como componentes. Las estrategias de personalización masiva utilizan un método similar al diseñar el producto de modo que el inventario pueda mantenerse en una forma que permita agregar múltiples productos finales. El objetivo es diseñar un producto de modo que la personalización ocurra según una combinación de las tres siguientes categorías de personalización: modular, ajustable y dimensional. Para proporcionar *personalización modular*, el producto se diseña como un ensamble de módulos que encajan. Todo el inventario se mantiene entonces como módulos que se ensamblan sobre pedido. Un buen ejemplo de personalización modular es el diseño de mesas y libreros en IKEA, donde el cliente en general ensambla los módulos. Un ejemplo de *personalización ajustable* es una lavadora diseñada por Matsushita que puede seleccionar automáticamente entre 600 ciclos diferentes. Todo el inventario se mantiene por tanto como un solo producto y cada cliente utiliza la máquina para satisfacer sus necesidades específicas. Un ejemplo de *personalización dimensional* dado por Joseph Pine (1999) es una máquina que fábrica a domicilio canaletas personalizadas para casas que luego pueden recortarse para que se adapten a las dimensiones de la casa. Otro ejemplo es National Bicycle, que recorta los tubos del cuadro de la bicicleta para adaptarlo a la talla del cliente.

El *diseño para fabricación* pretende diseñar los productos de modo que sea fácil fabricarlos. Algunos de los principios esenciales utilizados incluyen los componentes comunes, la eliminación de partes derechas e izquierdas, el diseño de partes simétricas, la combinación de partes, el uso de partes de catálogo en lugar de diseñar una nueva parte y el diseño de partes para tener acceso a otras partes y herramientas.

Punto clave

La colaboración de los proveedores en el diseño puede ayudar a una compañía a reducir los costos, mejorar la calidad y reducir el tiempo para llegar al mercado. Conforme la responsabilidad del diseño se transfiere a los proveedores, es importante asegurarse de que se observen los principios de diseño para logística y diseño para fabricación. Para alcanzar el éxito, los fabricantes deben convertirse en coordinadores de diseño eficientes en la cadena de suministro.

Un buen ejemplo que permite apreciar los esfuerzos de colaboración en el diseño se encuentra en la industria automotriz. Los fabricantes de automóviles de todo el mundo le están pidiendo a sus proveedores que participen en todos los aspectos del desarrollo del producto, desde el diseño conceptual hasta la fabricación. Por ejemplo, Ford pidió a los proveedores del modelo Thunderbird no sólo que fabricaran los componentes y subsistemas, sino también que se hicieran responsables de su diseño. La integración sólida a través de la cadena de suministro permitió a Ford lanzar el nuevo modelo a los 36 meses de haber aprobado el programa. Para garantizar una comunicación más eficaz, Ford requirió que todos sus proveedores tuvieran la misma plataforma de software para el diseño. También abrió todas sus bases de datos internas a sus proveedores y ubicó a muchos de ellos en sus oficinas. Los ingenieros de Ford estaban en comunicación constante con los proveedores y ayudaban a coordinar el diseño en general. El resultado fue una mejora significativa en el costo, tiempo y calidad.

15.8 PROCESO DE ADQUSICIÓN

Una vez que se seleccionan los proveedores, se firman los contratos y se diseña el producto, el comprador y los proveedores realizan transacciones de adquisición que empiezan cuando el comprador coloca el pedido y terminan cuando el comprador recibe y paga el pedido. Al diseñar el proceso de adquisición, es importante considerar los bienes que se adquirirán con él. Existen dos categorías principales de bienes adquiridos: materiales directos e indirectos. Los *materiales directos* son componentes que se usan para fabricar productos terminados. Por ejemplo, la memoria, los discos duros y las unidades de CD son materiales directos para un fabricante de computadoras personales. Los *materiales indirectos* son bienes utilizados para apoyar las operaciones de una empresa. Las computadoras personales son ejemplos de materiales indirectos para un fabricante de automóviles. Todos los procesos de adquisición dentro de una compañía se relacionan con la compra de materiales directos e indirectos. Las diferencias importantes entre los materiales directos e indirectos que afectan el proceso de adquisición se muestran en la tabla 15-7.

Dado el vínculo directo con la producción, el proceso de adquisición de materiales directos debe diseñarse para garantizar que haya componentes disponibles en el lugar adecuado, en la cantidad correcta y en el momento indicado. El objetivo principal del proceso de adquisición de materiales directos es coordinar toda la cadena de suministro y garantizar que la oferta se ajuste a la demanda (como se explica en los capítulos 9 y 10). El proceso de adquisición debe diseñarse por tanto para que los planes de producción y los niveles actuales del inventario de componentes con el fabricante sean visibles para el proveedor. Esta visibilidad permite a los proveedores programar la producción de componentes de acuerdo con las necesidades del fabricante. La capacidad disponible con los proveedores debe hacerse visible para el fabricante de modo que los pedidos de componentes pueden asignarse al proveedor apropiado para garantizar su entrega a tiempo. El proceso de adquisición también debe contar con alertas que adviertan tanto al comprador como al proveedor de las posibles disparidades entre la oferta y la demanda.

Un buen ejemplo de un proceso de adquisición que se enfoca en estos objetivos es la iniciativa eHub en Cisco, la cual se diseñó para proporcionar planeación sincronizada y visibilidad de un extremo a extremo de la cadena de suministro. Otro ejemplo es la relación entre Johnson Controls y Chrysler para el Jeep Liberty 2002, donde Johnson Controls integró los componentes de 35 proveedores y entregó el ensamble a Chrysler como un módulo de cabina. En cuanto Chrysler le notificaba el pedido de un Jeep, Johnson Controls disponía de 204 minutos para construir y entregar el módulo. Esto se realizó 900 veces todos los días con alrededor de 200 combinaciones de colores e interiores. El enfoque del proceso de adquisición era sincronizar por completo la producción en Chrysler y Johnson Controls. El resultado fue una considerable reducción del inventario y un mejor ajuste de la oferta del producto con la demanda del consumidor final.

Dado el enfoque en numerosas transacciones de valor bajo, el proceso de adquisición de materiales indirectos debe enfocarse en reducir el costo de transacción de cada pedido. Los costos de transacción de materiales indirectos son altos debido a la dificultad de seleccionar los productos (muchos catálogos que a menudo están obsoletos), obtener la aprobación y crear y enviar una orden de compra. El problema a menudo se exagera porque las compañías no cuentan con un sistema para materiales indirectos. En vez de ello utilizan varios procesos que no están modernizados o integrados. Un buen proceso de adquisición en línea que

Tabla 15-7 Diferencias entre materiales directos e indirectos

	Materiales directos	Materiales indirectos
Uso	Producción	Operaciones de mantenimiento, reparación y apoyo
Contabilidad	Costo de productos vendidos	Gastos de venta, generales y administrativos (SG&A)
Efecto en la producción	Cualquier retraso demorará la producción	Menos efecto directo
Costo de procesamiento en relación con el valor de la transacción	Bajo	Alto
Número de transacciones	Bajo	Alto

facilite las búsquedas y automatice la aprobación y la transmisión de la orden de compra puede ayudar a reducir los costos de transacción. El proceso en línea también debe actualizar otras partes interesadas como las áreas de cuentas por pagar y por cobrar. Como es obvio, esto sólo es posible con proveedores que implementan catálogos en línea y automatizan todas las transacciones con el comprador. Algunos ejemplos exitosos de implementaciones de adquisición en línea de materiales indirectos incluyen a Johnson Controls y Pfizer. Ambas empresas crearon sus soluciones en línea integrando el software existente. Johnson Controls integró una solución de Commerce One con un software de contabilidad de Oracle, en tanto que Pfizer integró un sistema de Ariba con un programa de tarjetas de compras corporativas de American Express. Ambas aseguran que han ahorrado mucho como resultado de esta integración.

Otro requisito importante para el proceso de adquisición tanto de materiales directos como indirectos es tener la capacidad de agregar pedidos por producto y proveedor. Para materiales directos, la consolidación de los pedidos mejora las economías de escala con el proveedor y durante el transporte, y permite a la empresa aprovechar los descuentos por cantidad que ofrezca el proveedor. Para los materiales indirectos, la consolidación del gasto con un proveedor a menudo permite a la empresa negociar mejores descuentos en sus compras.

Punto clave

El proceso de adquisición de materiales directos debe enfocarse en mejorar la coordinación y visibilidad con el proveedor. El proceso de adquisición de materiales indirectos debe enfocarse en reducir el costo de transacción de cada pedido. El proceso de adquisición en ambos casos debe consolidar los pedidos para aprovechar las economías de escala y los descuentos por cantidad.

Además de la clasificación de los materiales en directos e indirectos, todos los productos comprados también pueden catalogarse como se muestra en la figura 15-2, con base en su valor y cuán críticos sean.

La mayoría de los materiales indirectos se incluyen en los artículos generales. El objetivo del proceso de adquisición en este caso debe ser reducir el costo de adquisición o el costo de transacción. Los materiales directos se subdividen en artículos que se compran a granel, artículos críticos y artículos estratégicos. En cuanto a la mayoría de los artículos que se compran a granel, como los materiales de embalaje y sustancias químicas a granel, los proveedores tienden a tener el mismo precio de venta. Por consiguiente, es importante que antes de comprar se establezca una distinción entre los proveedores con base en los servicios que ofrecen y su desempeño con respecto a todas las dimensiones que afectan el costo total de la propiedad. El uso de subastas bien diseñadas probablemente sea lo más eficaz para comprar artículos a granel. Los artículos críticos incluyen componentes con largos tiempos de espera y sustancias químicas especializadas. El objetivo clave de aprovisionamiento de artículos críticos no es el precio bajo sino garantizar la disponibilidad. En este caso, el departamento de compras debe trabajar para mejorar la coordinación de los planes de producción tanto con

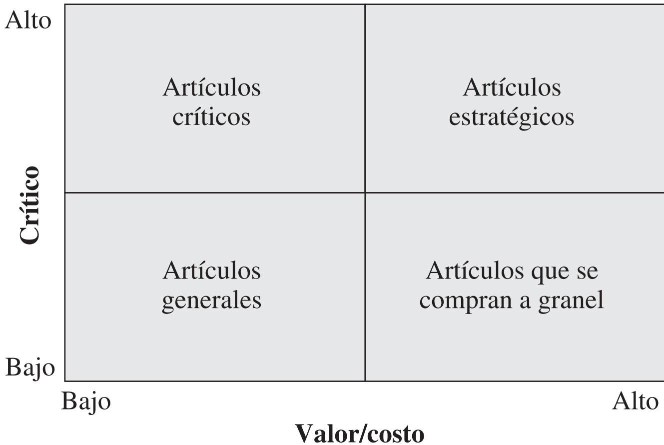


FIGURA 15-2 Clasificación de productos por valor y carácter crítico.

el comprador como con el proveedor. Una fuente de suministro con capacidad de respuesta, aunque sea de alto costo, puede ser muy valiosa como alternativa para artículos críticos. La última categoría, los artículos estratégicos, incluye ejemplos como componentes electrónicos para un fabricante de automóviles. Para los artículos estratégicos, la relación entre comprador y proveedor es en el largo plazo. Por tanto los proveedores deben ser evaluados con base en el costo o valor vitalicio de la relación. El departamento de compras debe buscar proveedores que puedan colaborar en la fase de diseño y coordinar las actividades de diseño y producción con otros actores de la cadena de suministro.

15.9 DISEÑO DE UN PORTAFOLIO DE APROVISIONAMIENTO: APROVISIONAMIENTO ADAPTADO

Cuando estructuran un portafolio de proveedores, las compañías tienen muchas opciones respecto a con quién aprovisionarse o de dónde aprovisionarse. En cuanto al "con quién", una compañía debe decidir sobre si producir en casa o subcontratar a un tercero. La compañía también debe decidir si la fuente de abastecimiento será eficiente en cuanto a costo o con capacidad de respuesta. Con respecto al "dónde", una compañía puede decidir entre localización interna, localización cercana y localización externa. La localización interna (onshoring) se refiere a producir el producto en el mercado donde se vende, aunque sea un lugar de alto costo. La localización cercana (*near-shoring*) se refiere a producir el producto en un lugar de bajo costo cerca del mercado. Para el mercado estadounidense, producir en México es localización cercana. Para el mercado en Europa, producir en Europa Oriental es localización cercana. La localización externa (*offshoring*) se refiere a producir el producto en un lugar de bajo costo lejos del mercado. En esta sección, analizamos varios factores que influyen en el diseño del portafolio de aprovisionamiento.

La mayoría de las compañías necesitan adaptar su portafolio con base en la variedad del producto y las características del mercado. Por ejemplo, Zara utiliza fuentes con capacidad de respuesta de Europa para fabricar productos de moda que deben estar en las tiendas de inmediato para satisfacer la demanda de los clientes. En contraste, prendas básicas como camisetas blancas son abastecidas por plantas asiáticas de bajo costo. La tabla 15-8 identifica los factores que favorecen la selección de una fuente con capacidad de respuesta o de bajo costo.

Como con Zara, un portafolio adaptado consiste en una combinación de proveedores con capacidad de respuesta y de bajo costo. Para usarlo con eficiencia, la demanda debe repartirse entre los proveedores de acuerdo con la capacidad de cada uno. Los proveedores de bajo costo deben encargarse de los pedidos grandes, constantes de productos maduros de bajo valor, que no requieren un apoyo significativo de ingeniería o diseño. Por el contrario, los proveedores con capacidad de respuesta deben hacerse responsables de productos volátiles de alto valor que se encuentran en fase inicial de su ciclo de vida y que requieren un apoyo significativo de ingeniería o diseño.

En general, las fuentes con capacidad de respuesta tenderán a localizarse internamente o cercanos para facilitar una respuesta rápida. Las fuentes de bajo costo pueden localizarse en cualquier parte aunque a menudo el bajo costo es la razón principal de la localización externa o cercana. En la tabla 15-9, identificamos algunos factores que influyen en la decisión sobre la ubicación del aprovisionamiento.

Tabla 15-8 Factores que favorecen la selección de una fuente con capacidad de respuesta o de bajo costo

	Fuente con capacidad de respuesta	Fuente de bajo costo
Ciclo de vida del producto	Fase temprana	Fase madura
Volatilidad de la demanda	Alta	Bajo
Volumen de la demanda	Bajo	Alta
Valor del producto	Alta	Bajo
Tasa de obsolescencia del producto	Alta	Bajo
Calidad deseada	Alta	Baja a mediana
Apoyo de diseño o ingeniería	Alta	Bajo

Tabla 15-9 Factores que favorecen la localización interna, la localización cercana o la localización externa

	Localización interna	Localización cercana	Localización externa
Tasa de innovación o variedad del producto	Alta	Mediana a alta	Baja
Volatilidad de la demanda	Alta	Mediana a alta	Baja
Contenido de mano de obra	Bajo	Mediano a alto	Alto
Relación de volumen o peso a valor	Alta	Alta	Baja
Efecto de la interrupción de la cadena de suministro	Alto	Mediano a alto	Bajo
Costos de inventario	Altos	Medianos a altos	Bajos
Apoyo de ingeniería o administración	Alto	Alto	Bajo

Los artículos grandes, voluminosos como lavadoras y refrigeradores, son adecuados para fabricarse en o cerca del mercado donde se venden ya que sus costos de transporte son altos en relación con su valor. Por el contrario, los artículos pequeños como productos electrónicos de consumo, sobre todo los que se venden en grandes cantidades (por ejemplo las IPad), pueden fabricarse en localización externa. Conforme los costos de transporte se incrementan, las opciones de localización interna o cercana se vuelven más atractivas con respecto a la localización externa. Los ruteadores de alto valor con alta volatilidad de la demanda, altos costos de inventario y la necesidad de apoyo de manejo significativo, son subcontratados por Cisco a un proveedor cercano. Los de bajo valor con diseños estables y baja volatilidad de la demanda se localizan externamente a países de bajo costo. Como estos ejemplos lo ilustran, es importante que una empresa planifique una estrategia de aprovisionamiento por medio de la cual las características del producto y mercado concuerden con la capacidad de respuesta y la ubicación de la fuente.

China y otras partes de Asia fueron fuentes de localización externa muy aceptadas durante las dos décadas entre 1990 y 2010. Algunas tendencias actuales, sin embargo, están haciendo que los gerentes estadounidenses reconsideren sus opciones de localización externa. Una es el cambio de los salarios chinos y el fortalecimiento del yuan, y ambas tendencias reducen la ventaja del costo de la mano de obra de China, sobre todo cuando se compara con ubicaciones cercanas como México. La otra es el incremento de los precios del petróleo y el costo del transporte que actúa como una barrera arancelaria que hace que la localización externa sea menos atractiva. Por último, el incremento en la volatilidad y la necesidad de mitigar el riesgo han alentado a los diseñadores de la cadena de suministro a incluir una fuente interna o cercana para completar una fuente de localización externa de bajo costo.

Punto clave

Las empresas deben considerar una estrategia de aprovisionamiento adaptada que combine fuentes de localización interna o cercana con capacidad de respuesta con fuentes de localización externa de bajo costo. Las fuentes cercanas con capacidad de respuesta deben enfocarse en productos de alto valor con alta volatilidad de la demanda, en tanto que las fuentes de localización externa de bajo costo deben enfocarse en productos de alto volumen y bajo valor con alto contenido de mano de obra.

15.10 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN EL APROVISIONAMIENTO

Los riesgos del aprovisionamiento pueden provocar incapacidad para satisfacer la demanda a tiempo, un incremento de los costos de adquisición, o la pérdida de la propiedad intelectual. Es importante desarrollar estrategias de mitigación que ayuden a atenuar una parte importante del riesgo.

La incapacidad de satisfacer la demanda a tiempo se presenta debido a la interrupción o demora de la fuente de abastecimiento. El riesgo de interrupción del suministro puede ser grave, en especial cuando se cuenta con una o muy pocas fuentes. Esto fue particularmente evidente después del terremoto y tsunami en

Japón a principios de 2011. Las cadenas de suministro con una sola fuente establecida en la región afectada por el tsunami enfrentaron una interrupción importante. El riesgo de interrupción se puede mitigar desarrollando múltiples fuentes. Dado el alto costo de desarrollar múltiples fuentes y la pérdida resultante de las economías de escala, es mejor hacerlo para productos con demanda relativamente alta. El desarrollo de múltiples fuentes es caro para productos con baja demanda. El mantenimiento de inventario o el desarrollo de una fuente de respaldo con más capacidad de respuesta pueden mitigar las demoras de una fuente de abastecimiento. Mantener inventario es mejor para productos de bajo valor que no se vuelven obsoletos con rapidez, en tanto que se prefiere una fuente de respaldo con capacidad de respuesta para productos de ciclo de vida corto y alto valor.

El riesgo de que aumenten los costos de adquisición puede ser considerable cuando la demanda del producto en toda la industria es superior a la oferta disponible, los tipos de cambios son desfavorables o hay una sola fuente de abastecimiento. Por ejemplo, los precios del petróleo crudo y el acero alcanzaron niveles muy altos en 2004-2005 debido a la alta demanda global ante la oferta limitada. Una cartera de contratos en el largo y corto plazos puede ayudar a mitigar el riesgo de tener altos costos de adquisición. Por ejemplo, un contribuyente importante a las utilidades de Southwest Airlines en 2004-2005 fueron los contratos en el largo plazo que había celebrado para la compra de combustible. El riesgo del tipo de cambio puede mitigarse mediante coberturas financieras o con una red de abastecimiento global lo bastante flexible para reconfigurarla con base en las fluctuaciones del tipo de cambio. El riesgo de retraso debido a una sola fuente de abastecimiento se puede contrarrestar desarrollando fuentes alternativas o teniendo una parte de la capacidad de abastecimiento en la empresa.

El riesgo de la propiedad intelectual puede mitigarse si la producción delicada se realiza o mantiene dentro de la empresa. Incluso cuando la producción se subcontrata, las empresas pueden mantener la propiedad de parte del equipo si se considera que éste tiene un valor considerable en cuanto a propiedad intelectual se refiere. Ésta es la razón de que Motorola sea propietaria del equipo de pruebas que utilizan sus fabricantes por contrato.

15.11 TOMA DE DECISIONES DE APROVISIONAMIENTO EN LA PRÁCTICA

1. ***Usar equipos multifuncionales.*** Las estrategias eficaces de aprovisionamiento son el resultado de la colaboración multifuncional dentro de la empresa. Es probable que una estrategia de aprovisionamiento del grupo de compras sea relativamente limitada y se centre en el precio de compra. Una estrategia desarrollada con la colaboración de los departamentos de compras, fabricación, ingeniería y planeación tiene muchas probabilidades de identificar los elementos fundamentales correctos del costo total. La colaboración debe continuar más allá de la formulación de la estrategia hasta la fase de adquisición, porque es allí donde los departamentos de ingeniería y producción tienen más probabilidades de obtener todos los beneficios de una buena estrategia de aprovisionamiento.

2. ***Asegurar la coordinación apropiada entre regiones y unidades de negocios.*** La coordinación de las compras entre todas las regiones y unidades de negocios permite a una empresa maximizar las economías de escala en las compras y también reducir los costos de transacción. Sin embargo, otras oportunidades que se presentan por un mejor aprovisionamiento, como una mejor coordinación en la cadena de suministro y una mejor colaboración en el diseño, pueden requerir una fuerte participación de las unidades de negocios para que sean eficaces. Exigir la coordinación global entre todas las unidades de negocios puede complicar estos esfuerzos. Artículos como los productos MRO, cuyos costos de transacción y volumen total de compra tienen un importante efecto en el costo total, se benefician más con las compras coordinadas en zonas geográficas y unidades de negocios. Por otro lado, los artículos de los que la mayor parte del valor se extrae por una mejor colaboración en el diseño y por la pronosticación y cumplimiento coordinados de la cadena de suministro, se manejan mejor con un aprovisionamiento un tanto más descentralizado.

3. ***Evaluar siempre el costo total de la propiedad.*** Una estrategia eficaz de aprovisionamiento no debe tener como objetivo exclusivo la reducción de precios. Todos los factores que influyen en el costo total de la propiedad deben identificarse y usarse para seleccionar a los proveedores. Debe medirse el desempeño de éstos con respecto a todas las dimensiones pertinentes, así como cuantificarse su impacto en el costo total. Enfocarse en el costo total de la propiedad también permite al comprador identificar las oportunidades para una mejor colaboración en el diseño, planeación y cumplimiento.

4. *Construir relaciones en el largo plazo con los proveedores clave.* Un principio básico del buen aprovisionamiento es que un comprador y un proveedor que trabajan en conjunto pueden generar más oportunidades de ahorrar que si trabajaran de manera independiente. Es probable que la cooperación sólida se logre sólo cuando las dos partes tengan una relación en el largo plazo y exista un cierto grado de confianza. Una relación en el largo plazo alienta al proveedor a realizar un mayor esfuerzo en temas que son importantes para un comprador en particular. Esto incluye la inversión en tecnología específica para dicho comprador y la colaboración en el diseño. Una relación en el largo plazo también mejora la comunicación y coordinación entre las dos partes. Estas capacidades son muy importantes cuando hay que abastecerse de materiales directos. Por tanto, deben fomentarse las relaciones en el largo plazo con proveedores de materiales directos, críticos y estratégicos.

15.12 RESUMEN

1. *Comprender el rol del aprovisionamiento en una cadena de suministro.* El aprovisionamiento comprende todos los procesos requeridos para que una empresa compre bienes a proveedores. Durante las dos últimas décadas las empresas manufactureras han incrementado la fracción de las partes compradas. Por tanto las decisiones de aprovisionamiento eficaces tienen un efecto considerable en el desempeño financiero. Las buenas decisiones de aprovisionamiento pueden mejorar el desempeño de la cadena de suministro al agregar pedidos, hacer que las transacciones de adquisición sean más eficientes, lograr la colaboración en el diseño con los proveedores, facilitar la pronosticación y planeación coordinadas con los proveedores, diseñar contratos con la cadena de suministro que incrementen la rentabilidad y que minimicen la distorsión de la información, y reducir el precio de compra gracias a la competencia incrementada entre los proveedores.

2. *Analizar los factores que afectan la decisión de subcontratar una función de la cadena de suministro.* Una función de la cadena de suministro debe subcontratarse si el tercero puede incrementar el superávit de la cadena de suministro sin ningún riesgo considerable. Un tercero puede incrementar el superávit si agrega la capacidad, el inventario, el almacenamiento, el transporte, la información, las cuentas por cobrar y otros factores, a un nivel más alto de lo que la empresa lo puede hacer. El outsourcing en general es conveniente si las necesidades de la empresa son mínimas y muy inciertas y pueden satisfacerse con recursos que también pueden servir para otras empresas. El outsourcing también es conveniente si la empresa carece de capital o el tercero tiene un costo de capital más bajo.

3. *Identificar las dimensiones de desempeño de un proveedor que afectan el costo total.* Además del precio del proveedor, el costo total de utilizar un proveedor se ve afectado por los términos del proveedor, los costos de entrega, los costos de inventario, los costos de almacenamiento, los costos de calidad, los costos del esfuerzo de administración y apoyo administrativo, el impacto en la reputación, las capacidades del proveedor como el tiempo de espera de reabastecimiento, la puntualidad y la flexibilidad, y otros costos como las tendencias del tipo de cambio, impuestos y derechos.

4. *Estructurar subastas y negociaciones exitosas.* Los compradores pueden usar subastas de primer precio con oferta sellada, holandesas, inglesas o de segundo precio (Vickrey). Las subastas exitosas minimizan el costo para el comprador y permiten que el proveedor que ofrece el costo más bajo gane la licitación. En muchos casos las subastas inglesas abiertas logran este resultado. Cuando realicen una subasta, los compradores deben trabajar para evitar la colusión entre licitadores. Las negociaciones exitosas son más probables cuando ambas partes están bien informadas sobre la postura de la otra y disponen de múltiples opciones que pueden usar para agrandar el tamaño del pastel, lo que da por resultado que las dos partes ganen.

5. *Describir el efecto de compartir el riesgo en el desempeño del proveedor y en la distorsión de la información.* Los contratos de abastecimiento deben tomar en cuenta el objetivo deseado del comprador y proveedor y el efecto resultante en la cadena de suministro. Los contratos se pueden diseñar para aumentar la disponibilidad del producto, coordinar los costos de la cadena de suministro, aumentar el esfuerzo del agente e inducir el mejoramiento del desempeño del proveedor. Los contratos que se usan para incrementar la disponibilidad del producto incluyen los de recompra, de compartición del ingreso y de cantidad flexible. Están diseñados para contrarrestar el problema de la doble marginación. Los contratos de recompra y de compartición del ingreso aumentan la distorsión de la información con respecto a los de cantidad flexible. Los descuentos por cantidad coordinan los costos de la cadena de suministro cuando el proveedor tiene costos fijos

considerables por lote. Los descuentos por cantidad aumentan la distorsión de la información debido a la división de los pedidos en lotes. Las tarifas en dos partes y los contratos de umbral están diseñados para aumentar el esfuerzo del agente. Los contratos de umbral pueden aumentar de manera importante la distorsión de la información y es mejor implementarlos a lo largo de un horizonte móvil. Los contratos de ahorros compartidos son más eficaces cuando un comprador desea que el proveedor mejore su desempeño en cuanto a ciertas dimensiones como el tiempo de espera y la calidad.

6. *Diseñar una cartera de proveedores adaptada.* Las empresas deben seleccionar una combinación de fuentes con capacidad de respuesta y bajo costo que quizá pueden de localización interna, de localización cercana o de localización externa. Las fuentes con capacidad de respuesta de localización interna son adecuadas para productos de alto valor con demanda volátil y contenido de mano de obra relativamente bajo. Las fuentes de bajo costo de localización externa son más adecuadas para productos con alto contenido de mano de obra, una gran demanda predecible y bajo costo de transporte con respecto a su valor.

Preguntas para debate

1. ¿Cuáles son algunas maneras de que una empresa como Walmart se beneficie por las buenas decisiones de aprovisionamiento?
2. ¿Qué factores hicieron que Walmart tuviera sus propios camiones aunque muchos detallistas subcontratan su transporte?
3. ¿Cómo un proveedor que ofrece un precio bajo termina costándole al comprador más que un proveedor que ofrece un precio más alto?
4. Explique por qué con el mismo nivel de inventario, un contrato de compartición de ingresos produce un menor esfuerzo de ventas por parte del detallista que si éste hubiera pagado el producto y fuera responsable de todo el inventario remanente.
5. Para un fabricante que le vende a muchos detallistas, ¿por qué un contrato de cantidad flexible distorsiona menos la información que un contrato de recompra?
6. La mayoría de las empresas ofrecen a sus vendedores incentivos monetarios basados en rebasar un objetivo específico. ¿Cuáles son algunas de las ventajas y desventajas de este método? ¿Cómo modificaría estos contratos para corregir algunos de los problemas?
7. Un fabricante de automóviles compra tanto artículos de oficina como subsistemas como asientos. ¿Qué diferencia, si la hubiera, recomendaría en la estrategia de aprovisionamiento para los tipos de productos?
8. ¿Por qué piensa que el ensamble de productos electrónicos de consumo debe ser realizado por terceros, en tanto que el ensamble en la industria automotriz casi nunca se subcontrata?
9. Para productos como aparatos domésticos, juguetes, prendas de vestir y productos electrónicos de consumo, ¿qué factores influirían en la selección de un proveedor localizado internamente, un proveedor localizado cerca o un proveedor localizado externamente?

Ejercicios

1. Una casa editorial vende libros a Barnes & Noble a $12 cada uno. El costo marginal de producción de la casa editorial es de $1 por libro. Barnes & Noble vende el libro a sus clientes a $24 y espera que la demanda en los dos próximos meses esté normalmente distribuida, con una media de 20,000 y una desviación estándar de 5,000. Barnes & Noble coloca un solo pedido con el editor para entrega a principios del periodo de dos meses. Actualmente Barnes & Noble rebaja los libros que no vendió al final de los dos meses a $3, y todos los libros que no vendió al precio normal se rematan a este precio.
   - **a.** ¿Cuántos libros debe pedir Barnes & Noble? ¿Cuál es la utilidad esperada? ¿Cuántos libros espera vender con descuento?
   - **b.** ¿Cuál es la utilidad que cada editor obtiene dadas las acciones de Barnes & Noble?
   - **c.** Un plan en proceso de análisis es que el editor reembolse a Barnes & Noble $5 por cada libro que no venda durante el periodo de dos meses. Como antes, Barnes & Noble los rebajará a $3 y venderá todos los libros que se queden. Con arreglo a este plan, ¿cuántos libros pedirá Barnes & Noble? ¿Cuál es la utilidad esperada para Barnes & Noble? ¿Cuántos libros se espera que no se vendan? ¿Cuál es la utilidad esperada para el editor? ¿Qué debe hacer el editor?
2. Un estudio cinematográfico vende la película más reciente en DVD a VideosRUs a $10 por DVD. El costo marginal de producción para el estudio cinematográfico es de $1 por DVD. VideosRUs vende cada DVD a $19.99 sus clientes. Los DVD se mantienen en los anaqueles a precio normal durante un mes, después del cual se rebajan a $4.99. VideosRUs coloca un solo pedido de DVDs. Su pronóstico actual es que las ventas se distribuirán normalmente, con una medida de 10,000 y una desviación estándar de 5,000.
   - **a.** ¿Cuántos DVD debe pedir VideosRUs? ¿Cuál es su utilidad esperada? ¿Cuántos DVD espera vender con descuento?
   - **b.** ¿Qué utilidad obtiene el estudio, dadas las acciones de VideosRUs?

c. Un plan en proceso de debate consiste en que el estudio reembolse a VideosRUs $4 por DVD que no venda durante el periodo de un mes. Como antes, VideosRUs los rebajará a $4.99 y venderá todos los DVD que se queden. Según este plan, ¿cuántos DVD debe pedir VideosRUs? ¿Cuál es la utilidad esperada para VideosRUs? ¿Cuántos DVD se espera que no se vendan al final del mes? ¿Cuál es la utilidad esperada para el estudio? ¿Qué debe hacer el estudio?

3. Topgun Records y varios estudios cinematográficos han decidido firmar un contrato de compartición de ingresos para producir discos compactos. Al estudio le cuesta $2 producir cada CD. El CD se venderá a Topgun a $3. Topgun a su vez vende un CD a $15 y pronostica que la demanda estará normalmente distribuida, con una media de 5,000 y una desviación estándar de 2,000. Los CD que no se vendan se rebajarán a $1, y todos se venderán a este precio. Topgun compartirá 35% de los ingresos con el estudio y se quedará con el 65%.

a. ¿Cuántos CD debe pedir Topgun?
b. ¿Cuántos CD espera vender Togun con descuento?
c. ¿Cuál es la utilidad que Topgun espera obtener?
d. ¿Cuál es la utilidad que el estudio espera obtener?
e. Repita los incisos *a* a *d* si el estudio vende el CD a $2 (en lugar de a $3) pero recibe 43% de los ingresos.

4. Benetton ha celebrado un contrato de cantidad flexible con un detallista para un producto estacional. Si el detallista pide *O* unidades, Benetton está dispuesta a surtir otro 35% si es necesario. El costo de producción de Benetton es de $20, y cobra al detallista un precio de mayoreo de $36. El detallista cobra a sus clientes $55 por unidad. El detallista puede liquidar las unidades que no se vendan a un precio de rescate de $25. Benetton puede rescatar sólo $10 por unidad de inventario sobrante. El detallista pronostica que la demanda está normalmente distribuida con una media de 4,000 y una desviación estándar de 1,600.

a. ¿Cuántas unidades *O* debe pedir el detallista?
b. ¿Cuál es la cantidad esperada que comprará el detallista (recordemos que el detallista puede incrementar el pedido hasta 35% después de observar la demanda)?
c. ¿Cuál es la cantidad esperada que venderá el detallista?
d. ¿Cuál es el excedente esperado con el detallista?
e. ¿Cuál es la utilidad esperada para el detallista?
f. ¿Cuál es la utilidad esperada para Benetton?

5. Usted es el gerente de compras a cargo de proporcionar un cierto tipo de transformador para una gran compañía de electricidad. La demanda semanal de estos transformadores entre sus cuadrillas de campo está normalmente distribuida con una media de 100 y una desviación estándar de 50. Los costos de mantener el inventario son de 25% y debe mantener una nivel de inventario correspondiente a un nivel de servicio de ciclo de 95%. Usted cuenta con dos proveedores, Reliable Components y Value Electric, que ofrecen los siguientes términos. Reliable vende el transformador a $5,000 con un pedido mínimo de 100, y un tiempo de espera de una semana, con una desviación estándar de 0.1 semanas. Value vende el transformador a $4,800, en lotes mínimos de 1,000, con un tiempo de espera de 5 semanas y una desviación estándar de tiempo de espera de 4 semanas.

a. ¿Cuál es el costo anual de usar a Reliable Components como proveedor?
b. ¿Cuál es el costo anual de usar a Value Electric como proveedor?
c. ¿Cuál proveedor elegiría?
d. Si pudiera usar a ambos proveedores ¿cómo estructuraría sus pedidos?

6. En el ejercicio 5, imagine que ha seleccionado a Reliable como su proveedor. Value Electric tiene mucho interés en ser su proveedor y le ofrece que elija entre tres alternativas mutuamente excluyentes: un tiempo de espera reducido de una semana, un lote mínimo reducido de 800, o una reducción de la desviación estándar del tiempo de espera de una semana.

a. ¿Cuáles son los costos anuales esperados de aceptar cada una de estas opciones?
b. ¿Cuál es el costo anual esperado si las tres pudieran ponerse en vigor?
c. ¿Cambiaría su decisión de elegir a Reliable en vez de cualquiera de estas opciones?

7. Considere la posición del detallista en el problema del contrato de cantidad flexible analizado en el capítulo, cuyos resultados se presentan en la tabla 15-6. Considere el contrato básico en el que $\alpha = \beta = 0.2$, el tamaño de pedido es de 1,000 y el precio de mayoreo es de $6. Para responder las siguientes preguntas, tendrá que construir un modelo de cantidad flexible. Suponga que el valor de rescate es cero tanto para el detallista como para el fabricante.

a. ¿Qué tanto se incrementará la utilidad para el detallista si α se incrementa a 0.5?
b. ¿Qué tanto se incrementará la utilidad para el detallista si β se incrementa a 0.5 (y α se mantiene a 0.2)?
c. ¿Por qué esperaría que fueran diferentes?

8. Imagine que ha adquirido las empresas del detallista y el fabricante del ejercicio 7. Sus intereses ahora son maximizar la rentabilidad de su nueva empresa y establecer un sistema de incentivos para lograrlo. Ha decidido mantener el contrato de cantidad flexible para ofrecer incentivos tanto a su empresa detallista como a su empresa fabricante.

a. ¿Cómo afecta el incremento de α a 0.5 la rentabilidad de su empresa?
b. ¿Cómo afecta el incremento de β a 0.5 la rentabilidad de su empresa?
c. ¿Por qué uno de estos cambios no tiene ningún efecto en la rentabilidad?

Bibliografía

Armstrong & Associates, Inc. (2001). *Who's Who in Logistics? Armstrong's Guide to 3PLs & Global Logistics Services.* Stoughton, WI: Autor.

Banfield, Emiko. (1999). *Harnessing Value in the Supply Chain: Strategic Sourcing in Action.* Nueva York: Wiley.

Billington, Corey y Francois Jager. (Enero-febrero 2008). Procurement: The Missing Link in Innovation. *Supply Chain Management Review,* pp. 22-28.

Cavinato, Joseph L. y Ralph Kauffman. (2000). *The Purchasing Handbook: A Guide for the Purchasing and Supply Professional.* Nueva York: McGraw-Hill.

Chopra, Sunil, Darren Dougan y Gareth Taylor. (Mayo-junio 2001). B2B E-Commerce Opportunities. *Supply Chain Management Review,* pp. 50-58.

Ellram, Lisa S. y Arnold B. Maltz. (1995). The Use of Total Cost of Ownership Concepts to Model the Outsourcing Decision. *The International Journal of Logistics Management* 6, pp. 55-66.

Evans, Wayne S. y Sven Blawatt. (Septiembre-octubre 2010). The Growth Potential in Managing Supplier Risk. *Supply Chain Management Review*, pp. 30-35.

Favre, Donavon y John McCreery. (Septiembre 2008). Coming to Grips with Supplier *Risk. Supply Chain Management Review,* pp. 26-32.

Ferreira, John y Len Prokopets. (Enero-febrero 2009). Does Offshoring Still Make Sense? *Supply Chain Management Review,* pp. 20-27.

Goel, Ajay, Nazgol Moussavi y Vats N. Srivatsan. (Invierno de 2008). Time to Rethink Offshoring? *McKinsey on Business Technology 14,* pp. 32-35.

Grosvenor, Franklin y Terrence A. Austin. (Julio-agosto 2001). Cisco's eHub Initiative. *Supply Chain Management Review,* pp. 18-26.

Heskett, James L. y Sergio Signorelli. (1984). Benetton (A). Harvard Business School, Caso 685014.

Jacoby, David y Bruna Figueiredo. (Mayo-junio 2008). The Art of High-Cost Country Sourcing. *Supply Chain Management Review,* pp. 32-38.

Krishna, Vijay. (2002). *Auction Theory.* San Diego, CA: Academic Press.

Laseter, Timothy M. (1998). *Balanced Sourcing: Cooperation and Competition in Supplier Relationships.* San Francisco, CA Jossey-Bass.

Martin, Lisa. (Mayo-junio 2002). Charting Pfizer's Path to e-Procurement. *Supply Chain Management Review,* pp. 20-26.

Milgrom, Paul. (2004). *Putting Auction Theory to Work.* Cambridge, UK Cambridge University Press.

Monczka, Robert H., Gary L. Ragatz, Robert B. Handfield, Robert J. Trent y David J. Frayer. (1997). Executive Summary: Supplier Integration into New Product Development: A Strategy for Competitive Advantage. The Global Procurement and Supply Chain Benchmarking Initiative, Michigan State University. Eli Broad Graduate School of Management.

Monczka, Robert, Robert Trent y Robert Handfield. (2002). *Purchasing and Supply Chain Management.* Cincinnati, OH: South Western.

Murphy, Sean. (Septiembre 2008). Will Sourcing Come Closer to Home? *Supply Chain Management Review,* pp. 33-37.

Neef, Dale. (2001). *e-Procurement: From Strategy to Implementation.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Pierson, John C. (Enero-febrero 2002). Johnson Controls' Journey to e-Procurement. *Supply Chain Management Review,* pp. 56-62.

Pine, Joseph B. (1999). Mass *Customization: The New Frontier in Business Competition.* Boston: Harvard Business School Press.

Porter, Robert H. (2004). Detecting Collusion. Documento #0051. Center for the Study of Industrial Organization, Northwestern University.

Smeltzer, Larry R. y Joseph R. Carter. (Marzo-abril 2001). How to Build an e-Procurement Strategy. *Supply Chain Management Review,* pp. 76-83.

Thompson, Leigh L. (2005). *The Mind and Heart of the Negotiator.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Toupin, Laurie. (Julio-agosto 2002). Needed: Suppliers Who Can Collaborate Throughout the Supply Chain. Special Advertising Section: Automotive. *Supply Chain Management Review,* pp. 5-8.

16



Fijación de precios y administración de los ingresos en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capitulo, será capaz de:

1. Comprender el rol de la administración de los ingresos en una cadena de suministro.
2. Identificar en cuáles condiciones pueden ser eficaces las tácticas de administración de los ingresos.
3. Describir las concesiones que deben considerarse cuando se toman decisiones de administración de los ingresos.

Dado que la mayoría de los activos de la cadena de suministro son fijos pero la demanda fluctúa, la igualación de la oferta y la demanda es un desafío constante. En este capítulo analizamos cómo pueden utilizar los gerentes la fijación de precios como palanca para igualar mejor la oferta y la demanda, así como aumentar los ingresos derivados de los activos de la cadena de suministro.

16.1 ROL DE LA FIJACIÓN DE PRECIOS Y DE LA ADMINISTRACIÓN DE LOS INGRESOS EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

En el capítulo 9 explicamos cómo las promociones de precios en el corto plazo podían ser una herramienta eficaz para satisfacer de manera más rentable la demanda estacional. En este capítulo abundamos aún más en la idea de utilizar la fijación de precios como palanca importante para incrementar las utilidades de la cadena de suministro mediante una mejor igualación de la oferta y la demanda, sobre todo cuando hay múltiples tipos de clientes dispuestos a pagar diferentes precios (con base en atributos como el tiempo de respuesta) por un activo. La *administración de los ingresos* es el uso de la fijación de precios para incrementar el superávit y la utilidad generados por la disponibilidad limitada de activos de la cadena de suministro. Los activos de la cadena de suministro existen en dos formas: capacidad e inventario. Los activos de capacidad de la cadena de suministro existen para producción, transporte y almacenamiento. Los activos de inventario existen en toda la cadena de suministro y se mantienen para mejorar la disponibilidad del producto. Al haber múltiples tipos de clientes, la administración de los ingregos pretende aumentar las utilidades con la venta del activo correcto al cliente correcto al precio correcto. Además de variar la capacidad y el inventario, la administración de los ingresos sugiere variar el precio para incrementar las utilidades al igualar mejor la oferta y la demanda. Una excelente presentación de técnicas de administración de los ingresos en la teoría y en la práctica se halla en Talluri y Van Ryzin (2004).

Consideremos una compañía de transporte que es propietaria de 10 camiones. Un método que la empresa puede seguir es establecer un precio fijo por sus servicios y valerse de la publicidad para estimular la demanda en caso de que tenga exceso de capacidad. Sin embargo, si utiliza la administración de los ingresos, la empresa podría hacer mucho más en tanto haya clientes cuyo deseo de pagar varíe con alguna dimensión del servicio como el tiempo de respuesta. Una opción es cobrar un precio más bajo a los clientes que deseen colocar sus pedidos con anticipación y un precio más alto a los clientes que buscan capacidad de transporte en el último momento. Otra opción es cobrar un precio más bajo a los clientes con contratos en el largo plazo y un precio más alto a los clientes que desean comprar capacidad en el último momento. Una tercera opción es cobrar un precio más alto durante periodos de alta demanda y precios más bajos en periodos de demanda baja. Consideremos un detallista que compra ropa de temporada para vender. Una estrategia que ajusta los precios con base en la disponibilidad del producto, la demanda de los clientes y la duración restante de la temporada de ventas producirá utilidades más altas para la cadena de suministro que una estrategia que fija el precio para toda la temporada de ventas.

Todas estas estrategias de administración de los ingresos utilizan precios diferenciales como una palanca crítica para maximizar los ingresos. La administración de los ingresos también puede definirse como el uso de precios diferenciales basados en segmentos de clientes, tiempo de uso, y disponibilidad del producto o capacidad para incrementar el superávit y las utilidades de la cadena de suministro. El efecto de la administración de los ingresos en el desempeño de la cadena de suministro puede ser significativo. Uno de los ejemplos citados con más frecuencia es el uso exitoso de la administración de los ingresos por parte de American Airlines para contrarrestar y finalmente vencer a PeopleExpress a mediados de la década de 1980. PeopleExpress comenzó en Newark, Nueva Jersey, y ofrecía tarifas que eran 50 a 80% más bajas que en las demás aerolíneas. Al principio las aerolíneas ignoraron a PeopleExpress porque no les interesaba el segmento del mercado de tarifas bajas. Para 1983, sin embargo, PeopleExpress volaba 40 aviones y lograba factores de carga de más de 74%. PeopleExpress y otros nuevos participantes estaban teniendo grandes avances en el territorio de las aerolíneas existentes. Éstas no podían competir reduciendo los precios al nivel de PeopleExpress porque tenían altos costos de operación. American Airlines fue la primera en idear una contramedida eficaz basada en la administración de los ingresos. En lugar de bajar el precio de todos sus asientos, American redujo los precios de una parte de los asientos a un nivel igual o inferior al de PeopleExpress. El número de asientos de bajo precio fue mayor en vuelos en los que probablemente habría asientos vacíos, y que de lo contrario no habrían producido ingresos. Esta estrategia permitió a American atraer clientes que valoraban los precios bajos sin perder el ingreso de los clientes que estaban dispuestos a pagar más. Pronto otras aerolíneas, como United, siguieron el ejemplo y atrajeron a muchos de los pasajeros de PeopleExpress. Esto bastó para reducir los factores de carga de PeopleExpress por debajo de 50%, un nivel en el que la aerolínea no podía sobrevivir. Antes de finales de 1986, PeopleExpress se derrumbó.

American Airlines tuvo éxito principalmente porque utilizó la fijación de precios diferenciales para reducir los precios de una fracción de los asientos y atraer pasajeros que de otro modo habrían volado con PeopleExpress. American no redujo los precios de la fracción de asientos utilizados por viajeros de negocios que no volaban con PeopleExpress. La fijación de precios diferenciales dirigidos es la parte medular de la administración exitosa de los ingresos.

La administración de los ingresos ajusta la fijación de precios y la oferta disponible de los activos y tiene un importante efecto en la rentabilidad de la cadena de suministro cuando se dan una o más de las siguientes cuatro condiciones:

1. El valor del producto varía en diferentes segmentos del mercado.
2. El producto es altamente perecedero o hay desperdicio del producto.
3. La demanda tiene picos estacionales y de otro tipo.
4. El producto se vende tanto por volumen como en el mercado al contado.

Los asientos de las aerolíneas son un buen ejemplo de un producto cuyo valor varía según el segmento del mercado. Un viajero de negocios está dispuesto a pagar una tarifa más alta por un vuelo que coincida con su horario. En contraste, un turista modificará a menudo su itinerario para conseguir una tarifa más baja. A una aerolínea que puede cobrar más al viajero de negocios en comparación con el turista, siempre le irá mejor que a otra que cobra el mismo precio a todos los viajeros. Se puede aplicar ideas similares en el contexto de habitaciones de hotel y renta de autos, para los cuales hay una importante diferencia entre el viajero de negocios y el viajero por placer.

La ropa de moda y de temporada son ejemplos de productos altamente perecederos porque pierde valor con el tiempo. Los clientes en general valoran más la ropa de moda al principio de la temporada porque desean ser los primeros en usarla. A finales de la temporada los clientes están dispuestos a comprar el producto sólo con un buen descuento. Asimismo, la capacidad de producción, de almacenamiento y de transporte pierde todo su valor si no se utiliza en un momento dado ya que la capacidad perdida no puede recuperarse. Si un camión no se utiliza durante un día, su capacidad de transporte de ese día se pierde para siempre sin que genere ingresos. Por tanto, la capacidad también es un activo altamente perecedero. El objetivo de la administración de los ingresos en tal escenario es ajustar el precio a lo largo del tiempo para maximizar la utilidad obtenida gracias al inventario o capacidad disponibles.

La demanda de habitaciones de hotel en muchos destinos turísticos muestra un patrón altamente estacional. Por ejemplo, los centros turísticos en Phuket, Tailandia, cobran una tarifa considerablemente más baja durante la temporada baja de los meses de verano en comparación con los meses pico de invierno. Tal patrón de fijación de precios les permite atraer clientes con algo de flexibilidad en el tiempo durante los meses de verano de bajo costo, y dejar la capacidad de invierno para clientes que están dispuestos a pagar más para disfrutar Phuket en el invierno. Algunos ferrocarriles suburbanos utilizan una estrategia similar para manejar las distintas cantidades máximas de pasajeros. Cobran tarifas altas durante periodos pico y tarifas bajas durante periodos bajos. Es importante tener en cuenta que la fijación de precios diferenciales para periodos altos y bajos aumenta las utilidades de una manera que es consistente con las prioridades de los clientes. Sin fijación de precios de temporada alta, la temporada alta, por ser la más deseable, tendría una demanda excesiva, en tanto que la temporada baja tendría una capacidad ociosa importante. Con una fijación de precios diferenciales, los clientes que realmente valoran la temporada alta pagarían el precio más alto, mientras que los que no están restringidos por el tiempo cambiarían a la temporada baja para aprovechar los precios bajos. El resultado de esa maniobra es un superávit más alto de la cadena de suministro con mayores utilidades para la empresa y una utilización de los activos por parte de los clientes que es consistente con sus necesidades.

Cada producto y cada unidad de capacidad se pueden vender tanto por volumen como en el mercado al contado. Por ejemplo, el propietario de un almacén debe decidir si arrienda todo el almacén a clientes dispuestos a firmar contratos en el largo plazo o deja una parte del almacén para usarla en el mercado al contado. El contrato en el largo plazo es más seguro pero por lo general alcanza un precio promedio más bajo que el del impredecible mercado al contado. La administración de los ingresos aumenta las utilidades al determinar la cartera adecuada de clientes en el largo plazo y del mercado al contado.

La administración de los ingresos puede ser una poderosa herramienta para todos los propietarios de activos en una cadena de suministro. Los propietarios de cualquier forma de capacidad (producción, transporte o almacenamiento) pueden usar la administración de los ingresos si hay demanda estacional o si hay segmentos que están dispuestos a pagar precios diferentes por diferentes tiempos de espera para usar la capacidad. La administración de los ingresos puede ser eficaz si un segmento desea utilizar la capacidad en el último momento y está dispuesto a pagar un alto precio por este privilegio, y otro segmento desea un precio bajo y está dispuesto a comprometerse con anticipación. La administración de los ingresos es esencial para los propietarios de productos perecederos. La mayoría de los ejemplos más existosos del uso de la administración de los ingresos provienen de la industria de los viajes y hospitalidad e incluyen aerolíneas, agencias de renta de automóviles y hoteles. American Airlines ha manifestado que las técnicas de administración de los ingresos aumentan sus ingresos en más de $1,000 millones al año. La aplicación de estas técnicas en Marriott aumenta los ingresos anuales en más de $100 millones. La administración de los ingresos puede tener un efecto similar en todas las etapas de una cadena de suministro que satisfacen una o más de las cuatro condiciones identificadas anteriormente.

En las siguientes secciones analizamos varias situaciones en las que la administración de los ingresos es eficaz y las técnicas utilizadas en cada caso.

16.2 FIJACIÓN DE PRECIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS INGRESOS EN MÚLTIPLES SEGMENTOS DE CLIENTES

Un ejemplo clásico de un mercado con múltiples segmentos de clientes es la industria de la aviación comercial, donde los viajeros de negocios están dispuestos a pagar una tarifa más alta por viajar en un horario específico, mientras que los viajeros por placer están dispuestos a cambiar su itinerario para aprovechar las

tarifas bajas. Surgen muchos casos similares en una cadena de suministro. Consideremos a ToFrom, una empresa de transporte propietaria de seis camiones con una capacidad total de 6,000 pies^3, que utiliza para transportar mercancías entre Chicago y Saint Louis. La renta mensual y el gasto que representa el conductor y el mantenimiento ascienden a $1,500 por camión. Una investigación de mercado ha indicado que la curva de la demanda de la capacidad de los camiones es

$$d = 10{,}000 - 2{,}000p.$$

donde d es la demanda de todos los segmentos y p es el costo de transporte por pie^3. Un precio de $2 por pie^3 produce una demanda de 6,000 pies^3 (todos los clientes están dispuestos a pagar $2 o más), un ingreso de $12,000 y una utilidad de $3,000, mientras que un precio de $3.50 por pie^2 produce una demanda de 3,000 (sólo aquellos clientes que están dispuestos a pagar $3.50 o más), un ingreso de $10,500 y utilidades de $1,500. La pregunta real es si los 3,000 pies^3 de la demanda a un precio de $3.50 se pueden separar de los 3,000 pies^3 adicionales de la demanda generada a un precio de $2 por pie^3. Si ToFrom supone que toda la demanda proviene de un solo segmento y no puede separarse, el precio óptimo es de $2.50 por pie^3, que produce una demanda de 5,000 pies^3 y un ingreso de $12,500, como se muesra en la figura 16-1.

Sin embargo, si ToFrom puede diferenciar el segmento que compra 3,000 pies^3 a $3.50 del que compra 3,000 pies^3 sólo a $2.00, la empresa puede utilizar la administración de los ingresos para mejorar los ingresos y las utilidades. ToFrom debe cobrar $3.50 al segmento que está dispuesto a pagar ese precio, y $2.00 por los 3,000 pies^3 que se venden a sólo ese precio. De este modo la empresa extrae un ingreso de $10,500 del segmento que está dispuesto a pagar $3.50 y un ingreso de $6,000 del segmento que está dispuesto a pagar sólo $2.00 por pie^3 para un ingreso total de $16,500, como se muestra en la figura 16-2. Cuando hay diferentes segmentos que valoran de diferente manera la capacidad de transporte, la administración de los ingresos aumenta el ingreso de $12,500 a $16,500 y mejora considerablemente las utilidades.

En teoría, el concepto de la fijación de precios diferenciales aumenta las utilidades totales de una empresa. Sin embargo, en la práctica deben manejarse dos temas fundamentales. Primero, ¿cómo puede la empresa diferenciar entre los dos segmentos y estructurar su fijación de precios para hacer que un segmento pague más que el otro? Segundo, ¿cómo puede la empresa controlar la demanda para que el segmento que paga menos no utilice toda la disponibilidad del activo?

Para diferenciar entre los distintos segmentos, la empresa debe crear barreras mediante la identificación de los atributos del producto o servicio que los segmentos valoran de diferente manera. Por ejemplo, los viajeros de negocios por avión desean reservar en el último momento y permanecer sólo el tiempo necesario.

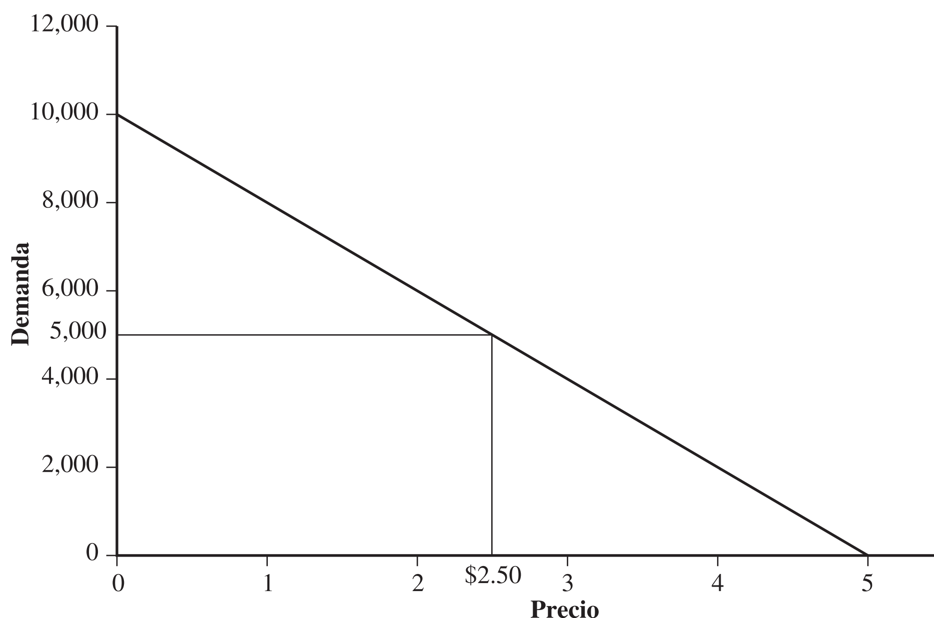


FIGURA 16-1 Ingreso generado por la fijación de precios de ToFrom para un segmento.

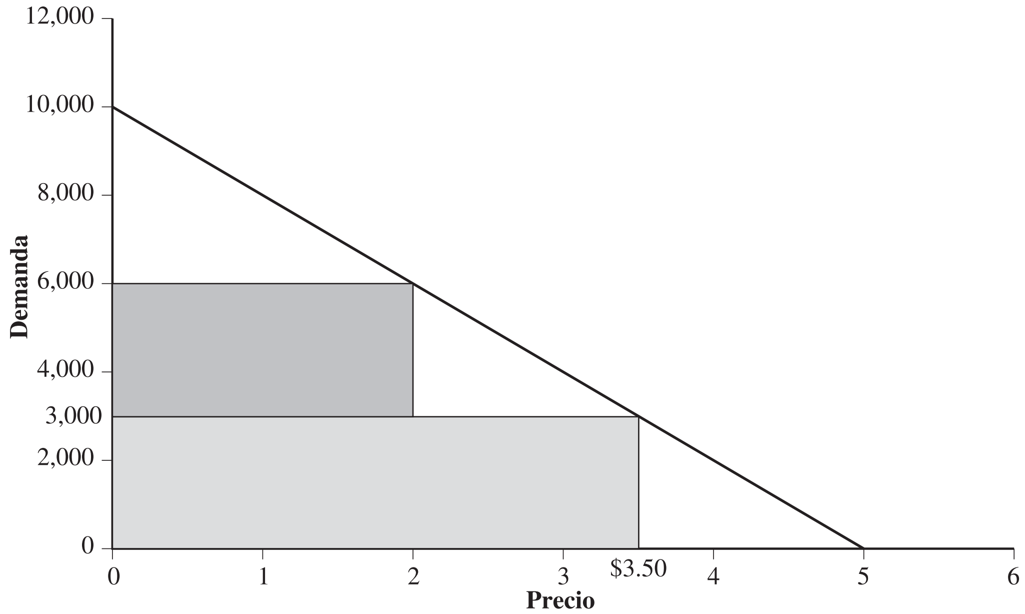


FIGURA 16-2 Ingreso generado por la fijación de precios de ToFrom para dos segmentos.

Los viajeros por placer, por otra parte, están dispuestos a reservar con mucha anticipación y a ajustar la duración de su permanencia. Los planes de los viajeros de negocios también están sujetos a cambios. Por tanto, la reservación con anticipación, la estancia requerida durante la noche del sábado y una penalización por cambiar a la tarifa baja separan al viajero por placer del viajero de negocios. Para un proveedor de transporte como ToFrom, los segmentos pueden diferenciarse con base en la anticipación con que el cliente está dispuesto a comprometerse y a pagar por la capacidad de transporte. Una separación similar también puede ocurrir en el caso de activos relacionados con la producción y almacenamiento en una cadena de suministro.

Con múltiples segmentos que pueden separarse, la empresa debe resolver los dos problemas siguientes:

1. ¿Qué precio debe cobrar a cada segmento?
2. ¿Cómo asignar la capaciad limitada entre los segmentos?

Fijación de precios para múltiples segmentos

Comencemos considerando el escenario simple en el que la empresa ha identificado los criterios con base en los cuales puede distinguir los diferentes segmentos de clientes. Uno de ellos puede ser una aerolínea que requiere estancia durante el sábado en la noche. Otro podría ser una compañía de transporte de carga que distingue a los clientes con base en la anticipación con que están dispuestos a comprometerse a realizar un envío. La empresa ahora desea identificar el precio apropiado para cada segmento. Consideremos un proveedor (de un producto o alguna otra función de la cadena de suministro) que ha identificado k segmentos distintos de clientes que pueden separarse. Supongamos que la curva de la demanda del segmento i está dada por (suponemos curvas de la demanda lineales para simplficiar el análisis)

$$d_i = A_i - B_i p_i$$

El proveedor tiene un costo c de producción por unidad y debe decidir el precio p_i que cobrará a cada segmento; d_i es la demanda resultante del segmento i. El objetivo del proveedor es establecer los precios para maximizar sus utilidades. El problema de fijación de precios se formula como sigue

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{k} (p_i - c)(A_i - B_i p_i)$$

Sin una restricción de la capacidad, el problema separa por segmentos y para el segmento i, el proveedor intenta maximizar

$$(p_i - c)(A_i - B_i p_i)$$

El precio óptimo para cada segmento i está dado por

$$p_i = \frac{A_i}{2B_i} + \frac{c}{2} \quad \textbf{(16.1)}$$

Si la capacidad disponible está restringida por Q, los precios óptimos se obtienen resolviendo

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{k} (p_i - c)(A_i - B_i p_i) \quad \textbf{(16.2)}$$

sujeta a

$$\sum_{i=1}^{k} (A_i - B_i p_i) \leq Q$$

$$A_i - B_i p_i \geq 0 \quad \text{para} \quad i = 1, \ldots, k$$

Ambas formulaciones son lo bastante sencillas para resolverlas en Excel. El ejemplo 16-1 ilustra el beneficio de los precios diferenciales para múltiples segmentos.

EJEMPLO 16-1 Fijación de precios para múltiples segmentos

Un fabricante por contrato ha identificado dos segmentos de clientes para su capacidad de producción, uno desea colocar un pedido con más de una semana de anticipación y el otro está dispuesto a pagar un precio más alto en tanto pueda dar aviso a producción con menos de una semana de anticipación. Los clientes que no están dispuestos a comprometerse con anticipación son menos sensibles al precio y tienen una curva de demanda de $d_1 = 5{,}000 - 20p_1$. Los clientes que están dispuestos a comprometerse con anticipación son más sensibles al precio y tienen una curva de demanda de $d_2 = 5{,}000 - 40p_1$. El costo de producción es $c = \$10$ por unidad. ¿Qué precio debe cobrar el fabricante a cada segmento si su objetivo es maximizar las utilidades? Si el fabricante por contrato cobrara un solo precio a ambos segmentos, ¿cuál debiera ser? ¿Qué tanto aumento en las utilidades produce la fijación de precios diferenciales? Si la capacidad de producción total está limitada a 4,000 unidades, ¿cuánto debe cobrar el fabricante a cada segmento?

Análisis:

Sin restricciones de capacidad, los precios diferenciales que se cobrarán a cada segmento están dados por la ecuación 16.1. Por tanto obtenemos

$$p_1 = \frac{5{,}000}{2 \times 20} + \frac{10}{2} = 125 + 5 = \$130 \quad \text{y} \quad p_2 = \frac{5{,}000}{2 \times 40} + \frac{10}{2} = 62.5 + 5 = \$67.5$$

La demanda de los dos segmentos está dada por

$$d_1 = 5{,}000 - 20 \times 130 = 2{,}400 \text{ y } d_2 = 5{,}000 - 40 \times 67.5 = 2{,}300$$

La utilidad total es

$$\text{Utilidad total} = 130 \times 2{,}400 + 67.5 \times 2{,}300 - 10 \times 4{,}700 = \$420{,}250$$

Si el fabricante por contrato cobra el mismo precio p a ambos segmentos, está intentando maximizar

$$(p - 10)(5{,}000 - 20p) + (p - 10)(5{,}000 - 40p) = (p - 10)(10{,}000 - 60p)$$

El precio óptimo en este caso está dado por

$$p = \frac{10{,}000}{2 \times 60} + \frac{10}{2} = \$88.33$$

La demanda de los dos segmentos está dada por

$$d_1 = 5{,}000 - 20 \times 88.33 = 3{,}233.40 \text{ y } d_2 = 5{,}000 - 40 \times 88.33 = 1{,}466.80$$

La utilidad total es

$$\text{Utilidad total} = (88.33 - 10) \times (3{,}233.40 + 1{,}466.80) = \$368{,}166.67$$

Por tanto, la fijación de precios diferenciales aumenta las utilidades en más de $50,000 en relación con el ofrecimiento de un precio fijo.

Ahora consideremos el caso en el que la capacidad total de producción está limitada a 4,000 unidades. El precio diferencial óptimo produce una demanda que rebasa la capacidad total de producción. Por tanto, recurrimos a la formulación de la ecuación 16.2 y resolvemos

$$\text{Max}\,(p_1 - 10)(5{,}000 - 20p_1) + (p_2 - 10)(5{,}000 - 40p_2)$$

Sujeta a

$$(5{,}000 - 20p_1) + (5{,}000 - 40p_2) \leq 4{,}000$$
$$(5{,}000 - 20p_1), (5{,}000 - 40p_2) \geq 0$$

Los resultados de la optimización restringida se muestran en la figura 16-3. Observemos que la capacidad limitada hace que el fabricante cobre un precio más alto a cada uno de los dos segmentos en relación a cuando no hay límite en la capacidad.

La metodología que hemos descrito tiene dos supuestos importantes que es improbable se sostengan en la práctica. La primera es que nadie del segmento de precios altos decide cambiarse al segmento de precios bajos después de que se anuncian los precios. En otras palabras, supusimos que un atributo como el tiempo de espera utilizado para separar los segmentos funcionaría perfectamente. En la práctica el caso es improbable. Nuestra segunda suposición es que una vez que se deciden los precios, la demanda de los clientes es predecible. En la práctica, la incertidumbre siempre estará asociada con la demanda. Talluri y Van Ryzin (2004) ofrecen un excelente análisis de varios modelos de administración de los ingresos que toma en cuenta la incertidumbre y algunos modelos que toman en cuenta la estrategia de los clientes al decidir sus acciones una vez que se anuncian los precios.

	A	B	C	D
3	Capacidad de producción	4000		
4	Segmento	Precio	Demanda	Utilidad
5	1	$ 141.7	2166.67	$ 285,277.8
6	2	$ 79.2	1833.33	$ 126,805.6
7	Total		4000	$ 412,083.3

Celda	Fórmula de celda	Copiada a
C5	= 5000 – 20*B5	
C6	= 5000 – 40*B6	
D5	= (B5 – 10)*C5	D6
C7	= sum(C5:C6)	
D7	= sum(D5:D6)	

FIGURA 16-3 Hoja de cálculo de Solver para el ejemplo 16-1.

Asignación de la capacidad a un segmento en condiciones de incertidumbre

En la mayoría de los casos de fijación de precios diferenciales, la demanda del segmento que paga el precio más bajo surge antes que la demanda del segmento que paga el precio más alto. Un proveedor puede cobrar un precio bajo a un comprador que está dispuesto a comprometerse con mucha anticipación, y un precio alto a los compradores que desean colocar sus pedidos en el último momento. Para aprovechar la ventaja de la administración de los ingresos, el proveedor debe limitar la cantidad de capacidad comprometida con los compradores de bajo precio aun cuando haya una demanda suficiente del segmento de precio bajo para utilizar toda la capacidad disponible. Esto plantea la pregunta de cuánta capacidad conservar para el segmento de precio alto. La respuesta sería simple si la demanda fuera predecible. En la práctica, la demanda es incierta y las empresas deben tomar esta decisión teniendo en cuenta la incertidumbre.

La concesión básica que el provedor con capacidad de producción debe considerar es si comprometerse con un pedido de un comprador de precio bajo o esperar a que más tarde llegue un comprador de precio alto. Los dos riesgos en una situación así son el desperdicio y el desborde. El *desperdicio* ocurre cuando la capacidad reservada para los compradores de alto precio se desperdicia porque la demanda de este segmento no se concreta. El *desborde* ocurre si es necesario rechazar a los comparadores de precio alto porque la capacidad ya se comprometió con los compradores de precio bajo. El proveedor debe decidir sobre la capacidad a comprometer con los compradores de precio alto para minimizar el costo esperado del desperdicio y del desborde. El pedido actual de un comprador de precio bajo debe compararse con el ingreso esperado derivado de la espera de un comprador de alto precio. El pedido del comprador de precio bajo debe aceptarse si el ingreso esperado del comprador de precio alto es menor que el ingreso actual del comprador de precio bajo.

A continuación desarrollamos esta concesión en términos de una fórmula que pueda usarse cuando el proveedor trabaja con dos segmentos de clientes. Sea p_L el precio cobrado al segmento de precio bajo y p_H el precio cobrado al segmento de precio alto. Supongamos que la demanda anticipada del segmento de precio alto está normalmente distribuida, con una media de D_H y una desviación éstadar de σ_H. Si reservamos una capacidad C_H para el segmento de alto precio, el ingreso marginal esperado $R_H(C_H)$ por reservar más capacidad está dado por

$$R_H(C_H) = \text{Prob(demanda del segmento de precio alto} > C_H) \times p_H$$

La cantidad reservada para el segmento de precio alto debe elegirse de manera que el ingreso marginal esperado del segmento de precio alto sea igual al ingreso marginal actual del segmento de precio bajo, es decir, $R_H(C_H) = p_L$. En otras palabras, la cantidad C_H reservada para el segmento de alto precio debe ser tal que

$$\text{Prob(demanda del segmento de precio alto} > C_H) = p_L/p_H \qquad \textbf{(16.3)}$$

Si la demanda del segmento de precio alto está normalmente distribuida, con una media de D_H y una desviación estándar de σ_H podemos obtener la cantidad reservada para el segmento de precio alto como

$$C_H = F^{-1}(1 - p_L\ p_H, D_H, \sigma_H) = NORMINV(1 - p_L\ p_H, D_H, \sigma_H) \qquad \textbf{(16.4)}$$

Si hay más de dos segmentos de clientes se puede usar la misma filosofía para obtener un conjunto de reservaciones anidadas. La cantidad C_1 reservada para el segmento de alto precio debe ser tal que el ingreso marginal esperado del segmento de precio más alto sea igual al segmento del siguiente precio más alto. La cantidad C_2 reservada para los dos segmentos de precio más alto debe ser tal que el ingreso marginal esperado de los segmentos de más alto precio sea igual al precio del segmento con el tercer precio más alto. Este método secuencial puede usarse para obtener un conjunto de reservaciones anidadas de capacidad para los segmentos, salvo el del precio más bajo.

Un punto importante a observar es que el uso de la fijación de precios diferenciales aumenta el nivel de disponibilidad de los activos para el segmento de precio alto. Se reserva capacidad para estos clientes debido a su disposición de pagar más por el activo. Por tanto, el uso eficaz de la administración de ingresos aumenta las utilidades de la empresa y también mejora el servicio para el segmento de clientes valiosos. El ejemplo 16-2 ilustra cómo se pueden aumentar las utilidades si se reserva capacidad para el segmento que paga más.

EJEMPLO 16-2 Asignación de capacidad a múltiples segmentos

ToFrom Trucking atiende a dos segmentos de clientes. Un segmento (A) está dispuesto a pagar \$3.50 por pie^3 y desea comprometerse con un envío con sólo 24 horas de anticipación. El otro segmento (B) está dispuesto a pagar \$2.00 por pie^3 y desea comprometerse con un envío hasta con una semana de anticipación. Con dos semanas por transcurrir se pronostica que la demanda del segmento A estará normalmente distribuida con una media de 3,000 pies^3 y una desviación estándar de 1,000. ¿Qué tanta capacidad disponible debe reservarse para el segmento A? ¿Cómo debe cambiar ToFrom su decisión si el segmento A está dispuesto a pagar \$5 por pie^3?

Análisis:

En este caso tenemos

Ingreso del segmento A, $p_A = \$3.50$ por pie^3

Ingreso del segmento B, $p_B = \$2.00$ por pie^3

Demanda media del segmento A, D_A = 3,000 pies^3

Desviación estándar del segmento de la demanda del segmento A, σ_A = 1,000 pies^3

Utilizando la ecuación 16.4, la capacidad que debe reservarse para el segmento A está dada por

$$C_A = NORMINV(1 - p_B/p_A, D_A, \sigma_A) = NORMINV(1 - 2.00 \quad 3.50, 3{,}000, 1{,}000)$$
$$= 2{,}820 \text{ pies}^3$$

Por consiguiente, ToFrom debe reservar 2,820 pies^3 de capacidad de camión para el segmento A cuando los clientes de este segmento estén dispuestos a pagar \$3.50 por pie^3. Si la cantidad que los clientes están dispuestos a pagar aumenta de \$3.50 a \$5.00, la capacidad reservada debe incrementarse a

$$C_A = NORMINV(1 - p_B \; p_A, D_A, \sigma_A) = NORMINV(1 - 2.00 \quad 5.00, 3{,}000, 1{,}000)$$
$$= 3{,}253 \text{ pies}^3$$

Idealmente, el pronóstico de la demanda de todos los clientes debe revisarse y calcularse una nueva cantidad de reserva cada vez que se procesa el pedido de un cliente. En la práctica tal procedimiento sería difícil de implementar. Es más práctico revisar el pronóstico y la cantidad reservada después de un periodo durante el cual la demanda pronosticada o la precisión del pronóstico hayan cambiado de una forma considerable.

Otro método de fijación de precios diferenciales consiste en crear diferentes versiones de un producto dirigidas a diferentes segmentos. Las casas editoriales lanzan al mercado los libros nuevos de autores de éxito como ediciones de pasta dura y a un precio alto. Los mismos libros se introducen después como ediciones rústicas a un precio más bajo. Se utilizan las dos versiones para cobrar un precio más alto al segmento que desea leer el libro en cuanto sale al mercado. También pueden crearse versiones diferentes mediante la combinación de diversas opciones y servicios con el mismo producto básico. Los fabricantes de automóviles crean una versión de lujo, una versión típica y una versión austera de los modelos más populares con base en las opciones que ofrecen. Esta política les permite cobrar precios diferenciales a diferentes segmentos por el mismo producto básico. Muchos fabricantes de lentes de contacto venden los mismos lentes con garantía de una semana, un mes y seis meses. En este caso se utiliza el mismo producto con diferentes servicios en la forma de garantía para cobrar precios diferenciales.

Para usar con éxito la administración de ingresos cuando se atiende a varios segmentos de clientes, una empresa debe aplicar eficientemente las siguientes tácticas:

- Precio basado en el valor asignado por cada segmento
- Uso de de diferentes precios para cada segmento
- Pronóstico a nivel de segmento

Los ferrocarriles de carga y las empresas de transporte por carretera no han usado eficazmente la administración de los ingresos con múltiples segmentos. Las aerolíneas, por el contrario, han sido más eficaces

al utilizar este método. Un obstáculo importante para los ferrocarriles es la falta de trenes programados. Sin éstos es difícil separar los segmentos de precio alto y bajo. Para aprovechar las oportunidades de la administración de los ingresos, los propietarios de activos de transporte en la cadena de suministro tienen que ofrecer algunos servicios programados como un mecanismo para separar los segmentos de precio alto y bajo. Sin servicios programados es difícil separar los clientes que desean comprometerse con anticipación de los que desean utilizar el servicio en el último momento.

Punto clave

Si un proveedor atiende múltiples segmentos con un activo fijo, puede mejorar los ingresos si establece precios diferentes para cada segmento. Los precios deben fijarse con barreras de modo que el segmento que está dispuesto a pagar más no pueda pagar el precio bajo. La cantidad del activo reservada para el segmento de precio alto es tal que los ingresos marginales esperados del segmento de precio alto sean iguales al precio para el segmento de precio bajo.

16.3 FIJACIÓN DE PRECIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS INGRESOS PARA ACTIVOS PERECEDEROS

Cualquier activo que pierde valor con el tiempo es perecedero. Obviamente, las frutas, verduras y productos farmacéuticos son perecederos. Esta lista también incluye productos como computadoras y teléfonos celulares que pierden valor cuando salen al mercado productos nuevos. La ropa de moda es perecedera porque no puede venderse a su precio normal una vez que pasa la temporada. Los activos perecederos también incluyen todas las formas de capacidad de producción, transporte y almacenamiento que se desperdicia si no se utiliza por completo. La capacidad no utilizada del pasado no tiene valor. Por consiguiente, la capacidad no utilizada es equivalente a la capacidad perdida.

Un ejemplo muy conocido de administración de los ingresos en la venta al detalle de ropa fue el original Filene's Basement en Boston. La mercancía se vendía primero en la tienda principal a precio sin descuento. La mercancía sobrante se llevaba al sótano y su precio se reducía progresivamente a lo largo de un periodo de 35 días hasta que se vendiera. Toda la mercancía que no se vendía se donaba a la beneficencia. En la actualidad la mayoría de las tiendas departamentales descuentan progresivamente la mercancía a lo largo de la temporada de ventas y después venden el inventario remanente a una tienda de descuento, que sigue una estrategia de precios similar.

Otro ejemplo de administración de los ingresos para un activo perecedero es el uso de la sobreventa en la industria de la aviación comercial. El asiento de un avión pierde todo su valor una vez que el avión despega. Como con frecuencia ocurre que algunos pasajeros no se presenten a abordar el avión aun cuando tienen reservaciones, las aerolíneas venden más reservaciones que la capacidad del avión para maximizar los ingresos esperados.

Las dos tácticas de administración de los ingresos utilizadas para activos perecederos son:

1. Variar el precio dinámicamente a lo largo del tiempo para maximizar los ingresos esperados
2. Sobrevender el activo para tomar en cuenta las cancelaciones

Fijación de precios dinámicos

La fijación de precios dinámicos, que es la táctica de variar los precios a lo largo del tiempo, es adecuada para activos como la ropa de moda que tienen una fecha bien definida después de la cual pierden mucho de su valor. La ropa diseñada para el invierno no tiene mucho valor en abril. Un detallista que compró 100 chaquetas para esquiar en octubre tiene muchas opciones con respecto a su estrategia de precios. Puede cobrar un precio alto al principio. Esta estrategia producirá menos ventas al inicio de la temporada (aunque a un precio más alto), y quedarán más chaquetas para vender más adelante durante la temporada, cuando tienen menos valor para los clientes. Otra opción es cobrar un bajo precio al principio, para vender más chaquetass al principio de la temporada (aunque a un precio bajo) y así habrá menos chaquetas para vender con descuento. Este intercambio determina las utilidades del detallista. Para variar con eficacia el precio de un activo perecedero

a lo largo del tiempo, el propietario del activo debe estimar su valor a través del tiempo y pronosticar con precisión el impacto del precio en la demanda de los clientes. En general, la fijación de precios diferenciales con el tiempo incrementa el nivel de disponibilidad del producto para el consumidor que está dispuesto a pagar el precio sin descuento y también aumentan las utilidades totales para el detallista.

A continuación analizamos una metodología sencilla para la fijación de precios dinámicos cuando el vendedor tiene una cantidad específica Q de un solo producto al inicio de la temporada. Suponemos que el vendedor es capaz de dividir la temporada de ventas en k periodos y que puede pronosticar la curva de la demanda de cada periodo. Las suposiciones subyacentes en este caso son que la respuesta de los clientes ante los precios puede predecirse a través del tiempo y que los clientes no cambiarán su comportamiento en respuesta a cambios previstos en los precios. Por simplicidad, suponemos que dado un precio p_i en el periodo i, la demanda d_i en el periodo i está dada por

$$d_i = A_i - B_i p_i$$

Ésta es una curva de demanda lineal, pero en general no necesariamente es lineal. Aquí presentamos el caso lineal porque es más fácil de entender y resolver. El detallista desea variar el precio a través del tiempo para maximizar los ingresos que puede obtener con las Q unidades que tiene disponibles al inicio de la temporada. El problema de fijación de precios dinámicos enfrentado por el detallista se puede formular entonces como:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{k} p_i(A_i - B_i p_i) \qquad \textbf{(16.5)}$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^{k} (A_i - B_i p_i) \leq Q$$

$$A_i - B_i p_i \geq 0 \quad \text{para} \quad i = 1, \ldots, k$$

Tal como está formulado, el problema de fijación de precios dinámicos es bastante sencillo y se puede resolver directamente con Excel como se ilustra en el ejemplo 16-3.

EJEMPLO 16-3 Fijación de precios dinámicos

Un detallista compró 400 parkas para esquiar antes del inicio de la temporada invernal a un costo de $100 cada una. La temporada dura tres meses y el detallista ha pronosticado que la demanda en cada uno de los tres meses es $d_1 = 300 - p_1$, $d_2 = 300 - 1.3p_2$ y $d_3 = 300 - 1.8p_3$. ¿Cómo debe el detallista variar el precio de las parkas a lo largo de los tres meses para maximizar el ingreso? Si el detallista cobra un precio constante durante los tres meses, ¿cuál debe ser? ¿Qué tanto se incrementa el ingreso con la fijación de los precios dinámicos?

Análisis:

Observemos que se pronostica que los clientes que compran al principio de la temporada son menos sensibles al precio que los que compran hacia finales de la temporada, que son más sensibles al precio. Utilizando la ecuación 16.5, el problema del detallista se puede formular como sigue:

$$\text{Max} p_1(300 - p_1) + p_2(300 - 1.3p_2) + p_3(300 - 1.8p_3)$$

sujeto a

$$(300 - p_1) + (300 - 1.3p_2) + (300 - 1.8p_3) \leq 400$$

$$300 - p_1, 300 - 1.3p_2, 300 - 1.8p_3 \geq 0$$

Este problema se puede formular con Solver en Excel como se muestra en la figura 16-4. Las celdas B5:B7 contienen las variables del precio, las celdas C5:C7 contienen la demanda resultante de las curvas de

	A	B	C	D
3	Cantidad al principio de la temporada	400		
4	Periodo	Precio	Demanda	Ingreso
5	1	$ 162.20	137.80	$ 22,351.28
6	2	$ 127.58	134.15	$ 17,114.36
7	3	$ 95.53	128.05	$ 12,232.30
8	Total		400	$ 51,697.94

Celda	Fórmula de celda	Copiada a
C5	= 300 – B5	
C6	= 300 – 1.3*B6	
C7	= 300 – 1.8*B7	
D5	= B5*C5	D6:D7
C8	= sum(C5:C7)	
D8	= sum(D5:D7)	

FIGURA 16-4 Hoja de cálculo de Solver para el ejemplo 16-3 de la fijación de precios dinámicos.

	A	B	C	D
3	Cantidad al principio de la temporada	400		
4	Periodo	Precio	Demanda	Ingreso
5	1	$ 121.95	178.05	$ 21,713.27
6	2	$ 121.95	141.46	$ 17,251.64
7	3	$ 121.95	80.49	$ 9,815.59
8	Total		400	$ 48,780.49

Celda	Fórmula de celda	Copiada a
B6	= B5	B7

FIGURA 16-5 Hoja de cálculo de Solver para el ejemplo 16-3 de precio fijo durante toda la temporada.

demanda respectivas, y las celdas D5:D7 contienen el ingreso en cada periodo. La demanda total a lo largo de los tres periodos aparece en la celda C8 y el ingreso total en la celda D8. La cantidad al principio de la temporada aparece en la celda B3.

Como se muestra en la figura 16-4, la estrategia óptima para el detallista es fijar un precio de $162.20 en el primer mes, de $127.58 en el segundo mes, y de $95.53 en el tercer mes. Esto produce un ingreso total de $51,697.94 para el detallista.

El problema de obtener el precio fijo óptimo a lo largo de la temporada de tres meses se puede formular en Excel, como se muestra en la figura 16-5. Todas las fórmulas de celda, excepto la B6 y la B7, son similares a las de la figura 16-4.

Si el detallista desea tener un precio fijo durante los tres meses, debe etiquetar las chaquetas a $121.95 para obtener un ingreso de $48,780.49. Podemos ver que la fijación de precios dinámicos permite al detallista aumentar sus utilidades en $3,000, de $8,780 a $11,698.

Una vez que hemos entendido cómo fijar precios dinámicos a los productos a lo largo de la temporada, podemos retroceder y preguntarnos cuántas unidades debe comprar el detallista al principio de la temporada para maximizar las utilidades, como se describe en el ejemplo 16-4.

EJEMPLO 16-4 Evaluación de la cantidad con la fijación de precios dinámicos

Regresemos al detallista del ejemplo 16-3. ¿Cuántas parkas debe comprar al principio de la temporada, y qué precio debe asignarles durante los tres meses de la temporada para maximizar las utilidades?

	A	B	C	D
2	Costo por unidad	$ 100.00		
3	Cantidad al principio de la temporada =	245		
4		Precio	Demanda	Ingreso
5	1	$ 200.00	100.00	$ 20,000.00
6	2	$ 165.38	85.00	$ 14,057.70
7	3	$ 133.33	60.00	$ 8,000.01
8	Total		245.0002	$ 42,057.71
9			Utilidad =	$ 17,557.69

Celda	Fórmula de celda	Copiada a
D9	= D8-B2*B3	

FIGURA 16-6 Hoja de cálculo de Solver para el ejemplo 16-4 de cantidad óptima y precios dinámicos.

Análisis:

En este caso la cantidad al principio de la temporada también es una variable de decisión. El problema del detallista ahora puede formularse como sigue:

$$\text{Max}\, p_1(300 - p_1) + p_2(300 - 1.3p_2) + p_3(300 - 1.8p_3) - 100Q$$

sujeto a

$$(300 - p_1) + (300 - 1.3p_2) + (300 - 1.8p_3) \leq Q$$
$$300 - p_1, 300 - 1.3p_2, 300 - 1.8p_3, Q \geq 0$$

El problema se puede formular en Excel como se muestra en la figura 16-6 para obtener la cantidad inicial óptima y los precios dinámicos a lo largo de la temporada. Todas las fórmulas de celda, excepto B3 y D9, son iguales a las de la figura 16-4.

Para el detallista es óptimo pedir 245 chaquetas al principio de la temporada. Su precio es de $200 durante el primer mes, de $165.38 durante el segundo mes y de $133.33 durante el tercer mes. La utilidad total para el detallista con la cantidad de pedido óptima y la fijación de precios dinámicos asciende a $17,557.69.

En realidad, el problema de la fijación de precios dinámicos es más complicado porque la demanda es impredecible y los clientes se comportan estratégicamente en el sentido de que pueden decidir demorar su compra si saben que los precios bajarán con el tiempo. Talluri y Van Ryzin (2004) presentan un excelente análisis de los modelos que pueden usarse en este complejo escenario.

El tema de la demanda impredecible y los clientes estratégicos se ilustra con eficacia en decisiones tomadas por tiendas detallistas de lujo como Saks Fith Avenue en noviembre de 2008. Los artículos de lujo de marcas como Prada, Gucci, y Dolce & Gabbana habían llegado a ser en 2007 especialmente importantes para las tiendas de lujo como Saks porque mantuvieron fuertes ventas hasta mediados de 2008, a pesar de que para entonces las ventas al detalle comenzaban a caer. Por consiguiente, Saks colocó sus pedidos para la temporada navideña de 2008 en espera de fuertes ventas de estas marcas. Sin embargo, para noviembre había una enorme desconexión entre los inventarios en Saks y la demanda de los clientes. En las “noches de ventas privadas” anuales en Saks a principios de noviembre para clientes importantes, los descuentos usuales de 40% no tuvieron respuesta. Para mediados de noviembre, competidores como Neiman Marcus también habían reducido sus precios 40% y algunos diseñadores ofrecían descuentos de 90% en “ventas muestra”. Al aproximarse el Día de Acción de Gracias, Saks decidió ofrecer descuentos de 70%. Tal decisión hizo que los mejores clientes que pagaban el precio sin descuento se sintieran engañados. La siguiente vez probablemente esperarían que bajaran los precios o se irían con un competidor. Los descuentos frecuentes durante la temporada de ventas afectan el comportamiento de los clientes, por lo que es difícil para el detallista manejar estos descuentos. En consecuencia, deben ser utilizados con cuidado, sobre todo para artículos de valor alto.

Punto clave

La fijación de los precios dinámicos puede ser una herramienta muy eficaz para aumentar las utilidades si la sensibilidad al precio de los clientes cambia en el transcurso de la temporada. Esto ocurre a menudo con los productos de moda, para los cuales los clientes son menos sensibles al precio a principios de la temporada, pero se vuelven más sensibles al precio hacia el final de la temporada. Sin embargo, la fijación de precios dinámicos debe considerar el comportamiento estratégico por parte de los clientes que pueden prever futuras caídas de precios.

Sobrerreserva

La táctica de reservar o vender en exceso el activo disponible es adecuada en cualquier situación en la cual los clientes pueden cancelar los pedidos y el valor del activo se reduce considerablemente después de una fecha límite. Entre algunos ejemplos están los asientos de avión, los artículos diseñados especialmente para Navidad, y la capacidad de producción. En cada caso hay una cantidad limitada del activo disponible, los clientes pueden cancelar los pedidos, y el activo pierde valor después de una cierta fecha. Si la tasa de cancelaciones o devoluciones se puede predecir con precisión, el nivel de sobrerreserva es fácil de determinar. En la práctica, sin embargo, la tasa de cancelaciones o devoluciones es incierta.

El trueque básico a considerar durante la sobrerreserva es entre desperdiciar capacidad (o inventario) debido al exceso de cancelación o carecer de capacidad (o inventario) debido a pocas cancelaciones, en cuyo caso se requiere contar con un respaldo costoso. El costo de la capacidad desperdiciada es el margen que se habría generado si la capacidad se hubiera utilizado para producción. El costo de un déficit de capacidad es la pérdida por unidad que resulta de tener que recurrir a una fuente de respaldo. El objetivo al tomar la decisión de una sobrerreserva es maximizar las utilidades de la cadena de suministro al minimizar el costo de la capacidad desperdiciada y el costo del déficit de capacidad.

A continuación desarrollamos este trueque o concesión en términos de una fórmula que puede usarse para establecer los niveles de sobrerreserva de un activo. Sea p el precio al cual se vende cada unidad del activo, y sea c el costo de utilizar o producir cada unidad del activo. En caso de déficit del activo, sea b el costo por unidad al cual puede usarse el respaldo. Por tanto, el costo marginal de desperdiciar capacidad es $C_w = p - c$, y el costo marginal de tener déficit de capacidad es $C_s = b - p$. Si el costo de la capacidad de respaldo es menor que el precio de venta, no hay razón alguna para limitar la sobrerreserva. El caso interesante surge cuando el costo de la capacidad de respaldo supera al precio de venta. La concesión para obtener el nivel de sobrerreserva óptimo es similar a la concesión descrita en el capítulo 14 para obtener el nivel de servicio de ciclo óptimo para artículos de temporada dado por la ecuación 13.1. Sea O^* el nivel de sobrerreserva óptimo y s^* la probabilidad de que la cancelación será menor que o igual a O^*. Como en la derivación de la ecuación 13.1, el nivel de sobrerreserva óptimo se obtiene como

$$s^* = \text{Prob}(\text{cancelaciones} \leq O^*) = \frac{C_w}{C_w + C_s}$$

Si se sabe en términos absolutos que la distribución de las cancelaciones está normalmente distribuida, con una media de p y una desviación estándar de σ_c, el nivel de sobrerreserva óptimo se evalúa como

$$O^* = F^{-1}(s^*, \mu_c, \sigma_c) = NORMINV(s^*, \mu_c, \sigma_c)$$

Si la distribución de las cancelaciones se conoce sólo como una función del nivel de reserva (la capacidad L + sobrerreserva O) con una media de $\mu(L + O)$ y una desviación estándar de $\sigma(L + O)$, el nivel de sobrerreserva óptimo se obtiene como una solución de la siguente ecuación:

$$O = F^{-1}(s^*, \mu(L + O), \sigma(L + O)) = NORMINV(s^*, \mu(L + O), \sigma(L + O)) \quad \textbf{(16.8)}$$

Observamos que el nivel óptimo de sobrerreserva debe aumentarse a medida que el margen por unidad se incrementa y que el nivel de sobrerreserva debe aumentarse a medida que el costo de la capacidad de reemplazo se incrementa. También observamos que el uso de la sobrerreserva aumenta la utilización del activo por parte de los clientes. El uso de la sobrerreserva reduce el número de clientes rechazados y por tanto

mejora la disponibilidad del activo para el cliente, al mismo tiempo que aumenta las utilidades del propietario del activo. La evaluación de la sobrerreserva se ilustra en el ejemplo 16-5.

EJEMPLO 16-5 Sobrerreserva o sobreventa

Consideremos un proveedor de ropa que está aceptando pedidos de vestidos con un motivo navideño. La capacidad de producción disponible del proveedor es de 5,000 vestidos, y obtiene $10 por cada vestido que vende. El proveedor suele tomar pedidos de los detallistas y debe decidir con cuántos pedidos puede comprometerse en este momento. Si los pedidos exceden la capacidad, tiene que recurrir a capacidad de respaldo, lo que produce una pérdida de $5 por vestido.

Se sabe que algunos detallistas cancelan sus pedidos cerca de la temporada invernal cuando tienen una mejor idea de la demanda esperada. ¿Cuántos pedidos debe aceptar el proveedor si las cancelaciones tienen una distribución normal con una media de 800 y una desviación estándar de 400? ¿Cuántos pedidos debe aceptar el proveedor si las cancelaciones están normalmente distribuidas con una media de 15% de los pedidos aceptados y un coeficiente de variación de 0.5?

Análisis:

El proveedor tiene los siguientes parámetros:

Costo de la capacidad desperdiciada, C_w = $10 por vestido

Costo del déficit de capacidad, C_s = $5 por vestido

Utilizando la ecuación 16.6, obtenemos

$$s^* = \frac{C_w}{C_w + C_s} = \frac{10}{10 + 5} = 0.667$$

Si las cancelaciones están normalmente distribuidas, con una media de 800 y una desviación estándar de 400, el nivel de sobrerreserva óptimo se obtiene con la ecuación 16.7 como

$$O^* = NORMINV(s^*, \mu_c, \sigma_c) = NORMINV(0.667, 800, 400) = 973$$

En este caso el proveedor debe sobrerreservar 973 vestidos y aceptar pedidos para un total de 5,973 vestidos.

Si las cancelaciones están normalmente distribuidas con una media de 15% del nivel de sobrerreserva y un coeficiente de variación de 0.5, el nivel de sobrerreserva óptimo se obtiene con la ecuación 16.8 como la solución de la siguiente ecuación:

$$O = NORMINV(0.667, 0.15(5000 + O), 0.075(5000 + O))$$

Esta ecuación se resuelve con la herramienta Solver de Excel par obtener el nivel de sobrerreserva óptimo

$$0^* = 1{,}115$$

En este caso el proveedor debe sobrerreservar 1,115 vestidos y aceptar pedidos hasta por 6,115 vestidos.

La sobrerreserva como táctica se ha utilizado en las industrias de la aviación comercial, ferrocarrillera, de pasajeros y hotelera. Sin embargo, no se ha utilizado al grado que debiera en muchos escenarios de la cadena de suministro, como la capacidad de producción, almacenamiento y el transporte. No hay razón alguna por la que un almacén de terceros que renta espacio a múltiples clientes no deba vender en su totalidad el espacio que exceda el espacio disponible. Obviamente se requerirá un respaldo si todos los clientes utilizan el espacio del almacenamiento a su máxima capacidad. En todos los demás casos la capacidad de almacenamiento disponible cubrirá las necesidades de espacio. La sobrerreserva en este caso mejorará los ingresos del almacén y permitirá que más clientes utilicen el espacio de almacenamiento disponible.

Punto clave

Reservar o vender en exceso un activo de la cadena de suministro es una táctica valiosa si ocurren cancelaciones de pedidos y el activo es perecedero. El nivel de sobrerreservación se basa en la concesión entre el costo de desperdiciar el activo si demasiadas cancelaciones conducen a activos no utilizados y el costo de recurrir a un respaldo si las cancelaciones demasiado bajas conducen a que los pedidos sean más grandes que la capacidad disponible.

16.4 FIJACIÓN DE PRECIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS INGRESOS PARA LA DEMANDA ESTACIONAL

Los picos estacionales de la demanda son un hecho frecuente en muchas cadenas de suministro. La mayoría de los detallistas en Estados Unidos logran una parte importante de sus ventas anuales durante el mes de diciembre. Un ejemplo es Amazon. A consecuencia del pico estacional, el requerimiento de capacidad de selección, empaque y transporte en Amazon crece considerablemente. La inclusión de capacidad de corta duración es costosa y reduce los márgenes de Amazon. Como se explicó en el capítulo 9, los descuentos que se ofrecen en temporada baja son un método eficaz de transferir la demanda de la temporada alta al periodo bajo. Amazon en general ofrece envíos gratuitos de los pedidos que se colocan en noviembre. El precio con descuento motiva a algunos clientes a transferir su demanda de diciembre a noviembre, con lo que se reduce la demanada pico de diciembre para Amazon, y le permite obtener una utilidad más alta. Al mismo tiempo, esta estrategia ofrece una diferencial de precios a los clientes que están dispuestos a pedir con anticipación

Ante los picos estacionales, una táctica eficaz de administración de los ingresos es cobrar un precio más alto durante la temporada alta y un precio más bajo durante el periodo de baja demanda. El resultado es la transferencia de la demanda del periodo de alta demanda al periodo de baja demanda. Este resultado es beneficioso si el descuento otorgado durante el periodo de baja demanda se compensa con creces por la reducción del costo debido un pico más pequeño y al aumento del ingreso durante el periodo bajo. Vea el capítulo 9 para un análisis detallado de las concesiones implicadas cuando una empresa utiliza la fijación de precios para enfrentar los picos estacionales.

La industria hotelera utiliza la fijación de precios diferenciales por día de la semana y época del año. En este caso el objetivo es no transferir la demanda sino aumentarla durante los periodos de baja demanda, atrayendo a clientes sensibles al precio, como las familias que se van de vacaciones, con un descuento. Marriott Corporation ha tenido bastante éxito en este esfuerzo. Se sabe que la demanda de habitaciones de hotel varía por día de la semana. Para Marriott, que trata de captar clientes de negocios, los días de demanda pico ocurren a la mitad de la semana. Marriott ofrece tarifas más bajas durante los fines de semana para animar a las familias a utilizar el hotel durante ese tiempo. Otra táctica de administración de los ingresos de Marriott es cobrar a los clientes una tarifa más baja si permanecen por un periodo más largo que también abarque los días de baja demanda.

Un ejemplo interesante de fijación de precios en periodos de alta demanda es el restaurante Next, iniciado por el chef estelar Grant Achatz en Chicago en 2010. El restaurante vende con anticipación boletos de asientos en horas diferentes. Los precios de los boletos varían según el menú pero también según la hora a la que un cliente se registra. Por tanto, un asiento para las 8 P.M del sábado es más caro que un asiento a las 9.30 P.M del martes. Asimismo, muchos equipos deportivos cobran más por juegos que implican oponentes populares y menos para oponentes débiles y en horas menos populares.

Los descuentos en temporada baja pueden ser una táctica eficaz de administración de los ingresos para propietarios de capacidad de producción o transporte en cualquier cadena de suninistro que enfrenta una demanda pico estacional, porque cambiar la capacidad a lo largo del tiempo es caro. Esta táctica incrementa las utilidades del propietario de los activos, reduce el precio pagado por una fracción de clientes, y también atrae clientes potencialmente nuevos durante el periodo de descuentos de temporada baja.

16.5 FIJACIÓN DE PRECIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS INGRESOS PARA CONTRATOS AL MAYOREO Y DE ENTREGA INMEDIATA

La mayoría de las empresas enfrentan un mercado en el que algunos clientes compran grandes cantidades con un descuento y otros compran unidades individuales o lotes pequeños a un precio más alto. Consideremos

un propietario de capacidad de almacenamiento en una cadena de suministro. La capacidad de almacenamiento puede alquilarse en su totalidad o en pequeñas cantidades a grandes compañías para que cubran sus necesidades urgentes o a pequeñas compañías. La compañía grande que alquila la totalidad del espacio suele obtener un descuento en comparación con las otras. El propietario del espacio de almacenamiento enfrenta así la siguiente disyuntiva: Podría rentar el espacio al comprador de grandes cantidades con descuento, o reservar una parte del espacio para la demanda a precio más alto de pequeñas cantidades de espacio de almacenamiento que pueden o no presentarse.

En la mayoría de los casos los propietarios de activos de la cadena de suministro prefieren satisfacer toda la demanda que surja de las ventas en grandes cantidades y tratar de atender a clientes pequeños sólo si sobran algunos activos. En contraste, una empresa como McMaster-Carr capta sólo clientes con demanda urgente de productos MRO. McMaster-Carr rechazará a los compradores de grandes cantidades que buscan un descuento. Con esta estrategia, McMaster-Carr es una empresa muy rentable. Para una empresa que desea atender un nicho del mercado, tratar de captar uno de los dos extremos es una estrategia sensible. Permite a la empressa enfocar sus operaciones para atender sólo al segmento que compra grandes cantidades o sólo al mercado al contado o de entrega inmediata. Para otras empresas, sin embargo, una estrategia híbrida de atender a ambos segmentos es apropiada. En este caso, las empresas deciden qué fracción del activo vender en grandes cantidades y qué fracción del activo reservar para el mercado al contado o de entrega inmediata. La disyuntiva fundamental es similar a una empresa que atiende a dos segmentos (vea la sección 16.2). La empresa tiene que decidir los precios para los segmentos de compras de grandes cantidades y de entrega inmediata y la cantidad del activo que reservará para el mercado de entrega inmediata. Los precios para cada segmento se determinan con las ecuaciones 16.1 y 16.2. La cantidad reservada para el mercado de entrega inmediata debe ser tal que el ingreso marginal esperado proveniente del mercado de entrega inmediata sea igual al ingreso actual proveniente de las ventas en grandes cantidades. La cantidad reservada se ve afectada por la diferencia marginal entre el mercado de entrega inmediata y las ventas de grandes cantidades, así como la distribución de la demanda del mercado de entrega inmediata. Si consideramos que el mercado de entrega inmediata es el segmento de precio alto y los compradores de grandes cantidades son el segmento de precio bajo, la cantidad del activo que se resevará para el mercado de entrega inmediata se puede obtener aplicando las ecuaciones 16.3 y 16.4.

Se tiene que tomar una decisión similar por cada comprador de activos de producción, almacenamiento y transporte en una cadena de suministro. Consideremos una compañía en busca de capacidad de embarque para operaciones globales. Una opción es que firme un contrato de compra de grandes cantidades en el largo plazo con una empresa de transporte. Otra opción es que compre capacidad de embarque en el mercado de entrega inmediata. El contrato de compra de grandes cantidades en el largo plazo tiene la ventaja de un precio fijo bajo, pero la desventaja de que se desperdicie si no se utiliza. El mercado al contado o de entrega inmediata tiene la desventaja de un precio promedio más alto pero la ventaja de que nunca se desperdicia. El comprador debe considerar esta disyuntiva al decidir la cantidad de contratos de embarque de grandes cantidades en el largo plazo que debe firmar.

Dado que el precio del mercado de entrega inmediata y la necesidad del comprador del activo no se conocen con certeza, debe usarse un método de árbol de decisiones, como se explicó en el capítulo 6, para evaluar la cantidad del contrato de grandes cantidades en el largo plazo que deben firmarse. Para el sencillo caso en el cual se conoce el precio del mercado de entrega inmediata pero la demanda es incierta, el alcance del contrato de compra en grandes cantidades se evalúa utilizando una fórmula. Sea c_B el precio al mayoreo y c_S el precio de mercado de entrega inmediata del activo. Sea Q^* la cantidad óptima del activo que se comprará al mayoreo y p^* la probabilidad de que la demanda del activo no sea superior a Q^*. El costo marginal de comprar otra unidad al mayoreo es c_B. El costo marginal esperado de no comprar otra unidad al mayoreo y luego comprarla en el mercado de entrega inmediata es $(1 - p^*)c_S$. Si la cantidad óptima del activo se compra al mayoreo, el costo marginal de la compra al mayoreo debe ser igual al costo marginal esperado de la compra en el mercado de entrega inmediata; es decir, $c_B = (1 - p^*)c_S$. Por tanto, el valor óptimo de p^* se obtiene como

$$p^* = \frac{c_S - c_B}{c_S} \qquad \textbf{(16.9)}$$

Si la demanda está normalmente distribuida con una media de μ y una desviación estándar de σ, la cantidad óptima, Q^*, del activo comprado al mayoreo se obtiene como

$$Q^* = F^{-1}(p^*, \mu, \sigma) = NORMINV(p^*, \mu, \sigma) \qquad \textbf{(16.10)}$$

Observemos que la cantidad de la compra al mayoreo se incrementa si el precio del mercado de entrega inmediata aumenta o el precio de mayoreo se reduce. La evaluación de las compras al mayoreo se ilustra en el ejemplo 16-6.

EJEMPLO 16-6 Contratos al mayoreo en el largo plazo frente al mercado de contado o de entrega inmediata

Un fabricante compra varios componentes en China y sus necesidades de transporte mensuales están normalmente distribuidas, con una media de $\mu = 10$ millones de unidades y una desviación estándar de $\sigma = 4$ millones de unidades. El fabricante debe decidir la cartera de contratos de transporte que mantendrá. Un contrato al mayoreo en el largo plazo cuesta $10,000 al mes por un millón de unidades. También puede conseguir capacidad de transporte en el mercado de entrega inmediata a un precio promedio de $12,500 por millón de unidades. ¿Por cuánta capacidad de transporte debe firmar el fabricante un contrato al mayoreo en el largo plazo?

Análisis:

En este caso tenemos

Costo del contrato al mayoreo, c_B = $10,000 por millón de unidades

Costo del mercado de entrega inmediata, c_S = $12,500 por millón de unidades

Con la ecuación 16.9, obtenemos

$$p^* = \frac{c_S - c_B}{c_S} = \frac{12{,}500 - 10{,}000}{12{,}500} = 0.2$$

La cantidad óptima que se comprará con el contrato al mayoreo en el largo plazo se obtiene, por tanto, con la ecuación 16.10 como:

$$Q^* = NORMINV(p^*, \mu, \sigma) = NORMINV(0.2, 10, 4) = 6.63$$

En consecuencia, el fabricante debe firmar un contrato al mayoreo en el largo plazo por 6.63 millones de unidades al mes y comprar en el mercado de entrega inmediata cualquier capacidad de transporte que supere esta cifra.

Punto clave

La mayoría de los consumidores de activos de producción, almacenamiento y transporte en una cadena de suministro enfrentan el problema de construir una cartera de contratos al mayoreo en el largo plazo y contratos del mercado de entrega inmediata. La decisión básica es el tamaño del contrato al mayoreo. La disyuntiva fundamental es entre desperdiciar una parte de un contrato al mayoreo de costo bajo y pagar más por el activo en el mercado de entrega inmediata.

16.6 USO DE LA FIJACIÓN DE PRECIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS INGRESOS EN LA PRÁCTICA

1. ***Evaluar con cuidado su mercado.*** El primer paso en la administración de los ingresos es identificar los segmentos de clientes que se atienden y sus necesidades. El objetivo es entender lo que el cliente compra, en lugar de lo que usted vende. Si una aerolínea piensa que sólo vende asientos no puede utilizar la administración de los ingresos. Tiene que pensarse como vendedora de asientos, en la capacidad de reservar en el último momento, en la capacidad de modificar los planes de vuelo, y en la capacidad de seleccionar un horario de vuelos conveniente. Sólo entonces se presentarán las oportunidades derivadas de la administración de los ingresos.

Después de identificar las necesidades del mercado, es crucial recopilar datos precisos y completos en relación con los productos ofrecidos, precios, competencia, y, lo más importante, con el comportamiento del cliente. La información sobre el comportamiento del cliente es un activo valioso que ayuda a identificar las

preferencias del consumidor. A fin de cuentas, una adecuada comprensión de las preferencias de los clientes y una cuantificación del efecto de diversas tácticas en el comportamiento del consumidor, son la parte medular de la administración exitosa de los ingresos.

2. *Cuantificar los beneficios de la administración de los ingresos.* Antes de iniciar el proyecto es de suma importancia cuantificar los beneficios esperados de la administración de los ingresos. Idealmente deben usarse datos históricos y un buen modelo de preferencias de los clientes para estimar los beneficios por medio de una simulación. El resultado de este paso deben ser objetivos de ingresos explícitos que deben lograrse como resultado de la administración de los ingresos. Los objetivos de ingresos deben ser tales que todos los interesados crean en ellos. El esfuerzo de la administración de los ingresos debe compararse entonces con el beneficio esperado.

3. *Implementar un proceso de pronosticación.* El fundamento de cualquier sistema de administración de los ingresos es la función de pronosticación. Para utilizar la sobrerreserva con un cierto grado de éxito, una aerolínea debe ser capaz de pronosticar patrones de cancelaciones. Por pronosticar no nos referimos a obtener una estimación que siempre sea precisa. Pronosticar implica estimar la demanda y también atribuir un error esperado al propio pronóstico. Tanto el valor estimado como el error esperado son datos importantes en cualquier modelo de administración de los ingresos.

En general es difícil pronosticar a un nivel micro, donde todo el comportamiento es en esencia idiosincrásico. Por ejemplo, a una aerolínea con 100 clases de tarifas le resultará muy difícil pronosticar la demanda de cada clase y pronosticar también el comportamiento de los clientes cuando se dan cuenta que una clase está llena. Por eso es importante asegurarse de que las tácticas de administración de los ingresos se planeen con base en un nivel suficientemente agregado que posibilite los pronósticos eficaces.

Por último, a medida que se disponga de nueva información, debe hacerse un nuevo pronóstico para ver si la táctica de administración de los ingresos que se aplica en la actualidad sigue siendo adecuada. La frecuencia de los pronósticos dependerá de la cantidad de actividad del mercado. Idealmente, la decisión sobre el pronóstico y la administración de los ingresos debe evaluarse después de cada transacción.

4. *Mantenerlo simple.* La mayoría de los beneficios de la administración de los ingresos se logran gracias a algunas dimensiones en las que se aplica la fijación de precios diferenciales. La complejidad adicional se suma al esfuerzo requerido sin que necesariamente agregue mucho valor. Una aerolínea, por ejemplo, puede lograr la mayor parte de los beneficios de la administración de los ingresos utilizando algunas clases de tarifas. Una mayor complejidad sólo dificultará los pronósticos sin que necesariamente mejore el ingreso.

5. *Implicar tanto las ventas como las operaciones.* Los vendedores deben entender la táctica de administración de los ingresos implementada para que de ese modo puedan alinear sus argumentos de venta. No tiene sentido que una empresa ofrezca un descuento en temporada baja si la fuerza de ventas sigue presionando a la gente para que compre en el periodo de precios altos. La fuerza de ventas debe diferenciar entre los clientes que verdaderamente necesitan el activo de la cadena de suministro durante el periodo pico y los que se beneficiarán por transferir su pedido al periodo bajo. Este método aumentará las utilidades de la empresa y también satisfará a los clientes. El área de operaciones debe entender los resultados potenciales de la táctica de administración de los ingresos implementada y estar informada de los resultados reales que están ocurriendo. Por ejemplo, el área de operaciones en una aerolínea que utiliza la sobrerreserva debe estar lista para reservar asientos en otros vuelos factibles para pasajeros que no pueden salir en el vuelo lleno.

6. *Comprender e informar al cliente.* Los clientes tenrán una percepción negativa de las tácticas de administración de los ingresos si se presentan simplemente como un mecanismo para obtener el ingreso máximo. Es probable que dicha percepción reduzca la lealtad de los clientes en el largo plazo y los aliente a probar y participar en el proceso. Por tanto, es importante que la empresa estructure su programa de administración de los ingresos de tal forma que aumenten los ingresos y mejore el servicio a lo largo de alguna dimensión que sea importante para los clientes que pagan el precio más alto. Como ya antes se explicó en este capítulo, una implementación apropiada de la táctica de administración de los ingresos debe lograr ambos resultados. Es importante que la empresa transmita esta información a sus clientes más valiosos. Recordemos que un cambio de comportamiento de este grupo de clientes puede destruir cualquier beneficio potencial de un programa de administración de los ingresos.

7. *Integrar la planeación de la oferta con la administración de los ingresos.* Aunque las ideas de planeación de la oferta y administración de los ingresos que analizamos en este libro son valiosas por sí mis-

mas, combinándolas se puede crear considerablemente más valor. La idea en este caso es no utilizar la administración de los ingresos en forma aislada, sino combinarla con decisiones relacionadas con la oferta. Por ejemplo, si después de aplicar la administración de los ingresos un fabricante descubre que la producción de una instalación que ofrece un corto tiempo de espera produce la mayor parte de sus utilidades, debe estudiar la posibilidad de agregar más capacidad con tiempo de espera corto. Comprender y proceder según las interacciones entre la oferta, la demanda y la fijación de precios, puede producir resultados muy satisfactorios.

16.7 RESUMEN

1. ***Comprender el rol de la administración de los ingresos en una cadena de suministro.*** La administración de los ingresos utiliza la fijación de precios diferenciales para ajustar mejor la oferta a la demanda y aumentar las utilidades de la cadena de suministro. Tradicionalmente las empresas han modificado la disponibilidad de los activos para ajustar la oferta a la demanda. La administración de los ingresos trata de reducir cualquier desequilibrio entre la oferta y la demanda utilizando los precios como palanca. Una gran ventaja de utilizar la administración de los ingresos es que un cambio en la fijación de precios es mucho más fácil de revertir que invertir en activos de la cadena de suministro. Cuando se utiliza adecuadadamente, la administración de los ingresos aumenta las utilidades de la empresa y deja a los clientes más valiosos más satisfechos gracias a la mayor disponibilidad del activo.

2. ***Identificar en cuáles condiciones pueden ser eficaces las tácticas de administración de los ingresos.*** Las tácticas de administración de los activos pueden ser eficaces si la empresa atiende a múltiples segmentos y cada uno de ellos valora de diferente manera el activo de la cadena de suministro, o que el activo sea perecedero y pierde valor con el tiempo, o que la demanda del activo tenga picos estacionales distintos, o bien que el activo se pueda comprar y vender utilizando contratos al mayoreo en el largo plazo y en el mercado de entrega inmediata.

3. ***Describir los truques o concesiones que deben considerarse cuando se toman decisiones de administración de los ingresos.*** Cuando se atiende a varios segmentos de clientes, la decisión básica de la administración de los ingresos es la cantidad del activo que se reservará para el segmento de precio alto. La disyuntiva está entre reservar demasiado y desperdiciar el activo si la demanda de precio alto no se materializa y rechazar a los clientes que pagan un precio alto porque se reservó demasiado poco del activo. Cuando el activo es perecedero, las decisiones básicas de la administración de los ingresos son cómo cambiar el precio del activo durante el tiempo y el grado al cual el activo debe sobrerreservarse o sobrevenderse. Al cambiar el precio del activo durante el tiempo, la disyuntiva está entre cobrar un precio alto al principio y tener demasiado inventario sobrante para venderlo más adelante con descuento, y cobrar un precio bajo inicial y tener poco inventario sobrante. Al sobrerreservar, la disyuntiva está entre no sobrerreservar lo suficiente y desperdicar el activo disponible, o sobrerreservar demasiado y tener que recurrir a capacidad de respaldo a un alto costo. Cuando la demanda tiene picos estacionales distintos, la decisión básica de administración de los ingresos se refiere al momento oportuno y magnitud del descuento en temporada baja. La disyunitiva está entre el costo adicional de atender el pico estacional, y el efecto en la demanda y por tanto en los ingresos derivados del ofrecimiento de un descuento en temporada baja. Para un vendedor que utiliza tanto contratos al mayoreo en el largo plazo como en el mercado de entrega inmediata, la decisión básica de la administración de los ingresos es la fracción del activo que debe reservar para el mercado de entrega inmediata. La disyuntiva básica está entre obtener una demanda comprometida a un precio bajo con el contrato al mayoreo y potencialmente obtener un alto precio en el mercado de entrega inmediata. Para un comprador, la decisión básica es la fracción de la demanda anticipada que se debe comprar con el contrato al mayoreo en el largo plazo. La disyuntiva básica está entre obtener un contrato al mayoreo en el largo plazo a bajo precio que quizá no pueda usarse en su totalidad, y comprar sólo la cantidad requerida en el mercado de entrega inmediata pero a un precio más alto.

Preguntas para debate

1. ¿De qué maneras puede un detallista como Nordstrom aprovechar las oportunidades que le ofrece la administración de los ingresos?
2. ¿Qué oportunidades brinda la administración de los ingresos a un fabricante? ¿Cómo puede aprovechar estas oportunidades?

3. ¿Qué oportunidades brinda la administración de los ingresos a una empresa de transporte de carga? ¿Cómo puede aprovechar estas oportunidades?
4. ¿Qué oportunidades brinda la administración de los ingresos al propietario de un almacén? ¿Cómo puede aprovecharlas?
5. Explique el uso de las tiendas de descuento por parte de detallistas como Saks Fifth Avenue en el contexto de la administración de los ingresos. ¿Cómo le ayuda a Saks el que haya tiendas de descuento? ¿Cómo ayuda a sus clientes más valiosos que están dispuestos a pagar el precio sin descuento?
6. La demanda de los salones de belleza es mucho más alta durante el fin de semana, cuando las personas no trabajan. ¿Qué técnicas de administración de los ingresos puede usar un negocio como ese?
7. ¿Cómo puede un campo de golf utilizar la administración de los ingresos para mejorar su desempeño financiero?

Ejercicios

1. Felgas, un fabricante de empaques de fieltro, tiene una capacidad de producción de 1,000 unidades al día. En la actualidad la empresa vende capacidad de producción a $5 por unidad. A este precio toda la capacidad de producción se reserva con cerca de una semana de anticipación. Algunos clientes han comentado que estarían dispuestos a pagar el doble ($10 por unidad) si Felgas tuviera capacidad disponible el último día. Alrededor de 10 días antes la demanda del segmento de alto precio está distribuida normalmente, con una media de 250 y una desviación estándar de 100. ¿Cuánta capacidad de producción debe reservar Felgas para el último día?
2. GoGo Bunny es un juguete muy popular esta Navidad, y el fabricante ha decidido racionar la oferta a todos los detallistas. Una gran cadena de tiendas detallistas cuenta con dos canales, un canal de descuento y otro de alto servicio. El detallista planea vender el juguete con un margen de $4 en el canal de descuento y un margen de $8 en el canal de alto servicio. El fabricante envía 100,000 GoGo Bunnies al detallista. Éste ha pronosticado que la demanda del juguete en el canal de alto servicio está normalmente distribuida, con una media de 400,000 y una desviación estándar de 150,000. ¿Cuántos juguetes debe enviar el detallista al canal de alto servicio?
3. Un pequeño almacén tiene 100,000 pies^3 de capacidad. El gerente del almacén se encuentra en el proceso de firmar contratos de espacio de almacenamiento con los clientes. El contrato establece una cuota mensual de $200 por cliente, que se paga por adelantado, y luego una cuota de $3 por pie^2 con base en el uso real. El almacén garantiza la cantidad contratada incluso si tiene que cotratar espacio adicional a un precio de $6 por pie^2. El gerente cree que es improbable que los clientes usen toda la cantidad contratada en todo momento. Por tanto, está pensando en firmar contratos por más de 100,000 pies^2. Pronostica que el espacio no utilizado estará normalmente distrtibuido, con una media de 20,000 pies^2 y una desviación estándar de 10,000 pies^2. ¿Cuál es el tamaño total de los contratos que debe firmar? Si pronostica que el espacio no utilizado estará normalmente distribuido con una media de 15% de la cantidad contratada y un coeficiente de variación de 0.6, ¿por qué cantidad de espacio total debe firmar los contratos?
4. Una empresa de transporte tiene una capacidad actual de 200,000 pies^3. Un gran fabricante está dispuesto a comprar toda la capacidad a $0.10 por pie^3 al día. El gerente de la empresa de transporte ha observado que en el mercado de entrega inmediata, la capacidad de transporte se vende a un promedido de $0.13 por pie^3 al día. La demanda, sin embargo, no está garantizada a este precio. El gerente pronostica una demanda diaria en el mercado de entrega inmediata que está normalmente distribuida, con una media de 60,000 pies^3 y una desviación estándar de 20,000. ¿Cuánta capaciad de transporte debe reservar el gerente para el mercado de entrega inmediata?
5. El gerente de una gran empresa manufacturera está planeando las necesidades de almacenamiento para el próximo año. Predice que las necesidades de almacenamiento estarán normalmente distribuidas, con una media de 500,000 pies^2 y una desviación estándar de 150,000. El gerente puede conseguir un contrato de arrendamiento por un año a $0.50 por pie^2 al mes o comprar espacio de almacenamiento en el mercado de entrega inmediata. Las tarifas en este mercado han promediado $0.70 por pie^2 al mes. ¿Por qué cantidad debe firmar el gerente un contrato anual?
6. NatBike, un fabricante de bicicletas, ha identificado dos segmentos de clientes, uno que prefiere las bicicletas hechas a la medida y que está dispuesto a pagar un alto precio, y otro que está dispuesto a aceptar las bicicletas entandarizadas pero que es más sensible al costo. Suponga que el costo de fabricación de cualquiera de las dos bicicletas es de $200. La demanda del segmento personalizado tiene una curva de $d_1 = 20{,}000 - 10p_1$ y la demanda del segmento estándar sensible al precio es $d_2 = 40{,}000 - 30p_2$. ¿Qué precio debe cobrar NatBike a cada segmento si no hay ninguna restricción en la capacidad? ¿Qué precio debe cobrar NatBike a cada segmento si la capacidad disponible total es de 20,000 bicicletas? ¿Cuál es la utilidad total en cada caso?
7. Reconsidere al fabricante de bicicletas NatBike del ejercicio 6. Ahora suponga que una bicicleta personalizada le cuesta $300 al fabricante, mientras que una bicicleta estándar le cuesta $200 con todos los demás datos del ejercicio 6. ¿Qué precio debe cobrar NatBike a cada segmento si no hay ninguna restricción en la capacidad? ¿Qué precio debe cobrar NatBike a cada segmento si la capacidad total disponible es de 20,000 bicicletas? ¿Cuál es la utilidad total en cada caso?
8. Reconsidere al fabricante de bicicletas NatBike del ejercicio 6. Suponga que la capacidad de la planta es de 20,000 bicicletas. Si se puede agregar capacidad adicional a un costo de $25 por bicicleta, ¿qué precio debe cobrar NatBike a cada uno de los dos segmentos y cuánta capacidad debe agregar? ¿Cómo se ven afectadas las utilidades con respecto a las del ejercicio 6?
9. Una tienda departamental ha comprado 5,000 trajes de baño para venderlos durante la temporada de ventas de verano. La temporada dura tres meses, y el gerente de la tienda pronostica

que es probable que los clientes que compran a principios de la temporada sean menos sensibles al precio y que es probable que los que compran más adelante en la temporada sean más sensibles al precio. Se pronostica que las curvas de la demanda en cada uno de los tres meses sean las siguientes: $d_1 = 2{,}000 - 10p_1$, $d_2 = 2{,}000 - 20p_2$ y $d_3 = 2{,}000 - 30p_3$. Si la tienda departamental tiene que cobrar un precio fijo a lo largo de toda la temporada, ¿qué precio tendría que cobrar? ¿Cuál es el ingreso resultante? Si la tienda desea cobrar precios dinámicos que varíen por mes, ¿qué precios debe cobrar? ¿Cómo afecta esto las utilidades en relación con cobrar precios fijos? Si cada traje de baño cuesta $40 y la tienda planea cobrar precios dinámicos, ¿cuántos trajes de baño debe comprar al principio de la temporada?

Bibliografía

Cross, Robert G. (1997). *Revenue Management.* Nueva York York: Bantam Doubleday Dell.

Cross, Robert G., Jon A. Higbie y Zachary N. Cross. (2010). Milestones in the Application of Analitical Pricing and Revenue Management. *Journal of Revenue and Pricing Management,* pp. 1-11.

Daudel, Sylvain y Georges Vialle. (1994). *Yield Management: Applications to Air Transport and Other Servicies Industries.* París: Institut du Transport Aerien.

O'Connell, Vanessa y Rachel Dodes. Saks Upends Luxury Market with Strategy to Slash Prices. *The Wall Street Journal*, 9 de febrero de 2009.

Phillips, Robert. (2005). *Pricing and Revenue Optimization*. Stanford, Ca, Stanford University Press.

Talluri, Kalyan T. y Garrett J. Van Ryzin. (2004). *The Theory and Practice of Revenue Management*. Boston: Kluwer Academic.

Tayur, Sridhar, Ram Ganeshan y Michael Magazine, eds. (1999). *Quantitative Model for Supply Chain Management*, Boston: Kluwer Academic.

Wells, Pete. In Chicago, the Chef Grant Achatz Is Selling Tickets to His New Restaurant. *New York Times*, 5 de mayo de 2010.

17



Tecnología de la información en una cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Comprender la importancia de la información y de la tecnología de la información en una cadena de suministro.
2. Conocer a un alto nivel cómo utiliza la información cada elemento clave de la cadena de suministro.
3. Comprender las principales aplicaciones de la tecnología de la información en la cadena de suministro y los procesos que habilitan.

La información es crucial para el desempeño de una cadena de suministro porque constituye la base para que los gerentes tomen decisiones. La tecnología de la información se compone de herramientas que se emplean para percatarse de la información, analizarla y ejecutar acciones basadas en ésta para mejorar el desempeño de la cadena de suministro. En este capítulo exploramos la importancia de la información, sus usos y las tecnologías que permiten a los gerentes de la cadena de suministro usar la información para tomar mejores decisiones.

17.1 ROL DE LA TI EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

La información es un elemento fundamental de la cadena de suministro porque actúa como el aglutinante que permite que los demás elementos fundamentales de la cadena funcionen en conjunto, con el objetivo de crear una cadena de suministro integrada y coordinada. La información es crucial para el desempeño de la cadena de suministro porque proporciona el fundamento a partir del cual los procesos de la cadena ejecutan transacciones y los gerentes toman decisiones. Sin información un gerente no puede saber qué quieren los clientes, cuánto inventario hay y cuándo debe producirse o enviarse más producto. En resumen, la información hace visible la cadena de suministro, lo cual habilita a los gerentes para tomar decisiones por la mejora en el desempeño de la cadena de suministro.

La TI se compone de hardware, software, y personal a lo largo de la cadena de suministro, que recopilan, analizan y ejecutan acciones con base en la información. La TI actúa como los ojos y las orejas (y a veces como una parte del cerebro) de la administración de una cadena de suministro, que captan y analizan la información necesaria para tomar una buena decisión. Por ejemplo, un sistema de TI de un fabricante de computadoras personales puede mostrar el inventario de productos terminados en diferentes etapas de la cadena de suministro, así como proporcionar el plan de producción y el nivel de inventario óptimos a partir de la información sobre la oferta y la demanda.

El uso de sistemas de TI para captar y analizar información puede tener un efecto significativo en el desempeño de una empresa. Por ejemplo, un importante fabricante de estaciones de trabajo y servidores se dio cuenta de que la

mayor parte de su información no se estaba utilizando para establecer programas de producción y niveles de inventario. El grupo de fabricación carecía de esta información sobre la demanda, lo que en esencia le obligaba a tomar a ciegas decisiones relacionadas con el inventario y producción. Con la instalación de un sistema de software para la cadena de suministro, la compañía pudo reunir y analizar datos de la demanda para producir niveles de existencias recomendados. El uso del sistema de TI le permitió a la compañía reducir su inventario a la mitad, ya que ahora los gerentes podían tomar decisiones con base en la información sobre la demanda de los clientes en lugar de conjeturas de fabricación. Los grandes efectos como éste subrayan la importancia de la TI como impulsora del desempeño de la cadena de suministro.

La disponibilidad y análisis de la información para impulsar la toma de decisiones es un elemento fundamental para el éxito de una cadena de suministro. Entre las compañías que han construido su éxito a partir de la disponibilidad y análisis de la información están Seven-Eleven Japan, Walmart, Amazon, UPS y Netflix. Para apoyar las decisiones eficaces relacionadas con la cadena de suministro, la información debe tener las siguientes características:

1. ***La información debe ser precisa.*** Sin información que dé un panorama real del estado de la cadena de suministro, es difícil tomar buenas decisiones. Esto no quiere decir que toda la información deba ser 100% correcta, sino más bien que los datos disponibles representen una situación que por lo menos apunte en la dirección correcta.
2. ***La información debe ser accesible de manera oportuna.*** A menudo existe información precisa, pero para cuando está disponible, ya es obsoleta o no está en un formato accesible. Para tomar buenas decisiones, un gerente necesita disponer de información actualizada de fácil acceso.
3. ***La información debe ser del tipo correcto.*** Los encargados de tomar decisiones necesitan información que puedan usar. A menudo las compañías tienen grades cantidades de datos que no le sirven para tomar decisiones. Las compañías deben reflexionar sobre qué información deben registrar para no desperdiciar recursos valiosos al recolectar datos faltos de significado mientras que los datos importantes no se registran.
4. ***La información debe compartirse.*** Una cadena de suministro puede ser eficaz sólo si todos los accionistas comparten una perspectiva común de la información que utilizan para tomar decisiones de negocios. Si cada accionista cuenta con información diferente, el resultado son planes de acción desalineados que perjudican el desempeño de la cadena de suministro.

La información se utiliza cuando se toman diversas decisiones sobre cada controlador en la cadena de suministro, como se explica a continuación.

1. ***Instalación.*** Para determinar la ubicación, capacidad y progamas de una instalación se requiere información sobre las disyuntivas entre eficiencia y flexibilidad, demanda, tipos de cambio, impuestos, etcétera (vea los capítulos 4, 5 y 6). Los proveedores de Walmart usan la información de la demanda de las tiendas de de Walmart para establecer sus programas deproducciób, y Walmart utiliza la información de la demanda para determinar dónde situar sus nuevas tiendas e instalaciones de reparto directo.
2. ***Inventario.*** Para establecer políticas de irventario óptimas se requiere información que incluya los patrones de la demanda, el costo de mantener el inventario, los costos de desabasto y los de la colocación de pedidos (vea los capítulos 11, 12 y 13). Por ejemplo, Walmart recopila información detallada sobre la demanda, costo, margen y proveedores para tomar estas decisiones de política de inventario.
3. ***Transporte.*** Para decidir sobre redes de transporte, ruta, medios, envíos y proveedores, se requiere información sobre costos, ubicaciones de los clientes y tamaños de los envíos para tomar buenas decisiones (vea el capitulo 14). Walmart utiliza información para integrar estrechamente sus operaciones con las de sus proveedores. Esta integración le permite implementar la entrega directa en sus redes de transporte, y ahorrar tanto en los costos de inventario como en los de transporte.
4. ***Aprovisionamiento.*** La información sobre márgenes de producto, precios, calidad, tiempos de espera de la entrega, etcétera, es muy importante parte tomar decisiones de aprovisionamiento. Dadas las transacciones de aprovisionamiento entre empresas, debe registrarse una amplia gama de información sobre transacciones para ejecutar las operaciones, incluso después de haber tomado decisiones relacionadas con el aprovisionamiento.
5. ***Fijación de precios y administración de los ingresos.*** Para establecer políticas de fijación de precios, se necesita información sobre la demanda, tanto de su volumen como de los diversos segmentos de

clientes que están dispuestos a pagar, y sobre muchos aspectos en relación con la oferta, como el margen del producto, el tiempo de espera y la disponibilidad. Con esta información las empresas pueden tomar decisiones inteligentes sobre precios para mejor la rentabilidad de su cadena de suministro.

En suma, la información es crucial para tomar buenas decisiones en los tres niveles de la cadena (estrategia, planeación y operaciones) y en cada uno de los demás elementos clave de la cadena de suministro (instalaciones, inventario, transporte, aprovisionamiento y fijación de precios). La TI permite no sólo la obtención de estos datos para hacer visible la cadena de suministro, sino también para analizarlos a fin de que las decisiones tomadas maximicen la rentabilidad.

17.2 MARCO DE LA TI EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Desarrollamos un marco que los gerentes pueden usar para entender el rol de la TI en la cadena de suministro. En esencia, la TI proporciona acceso y reporte de datos de transcciones de la cadena de suministro. Los sistemas de TI más avanzados operan a un nivel analítico que utiliza los datos de transacciones para mejorar proactivamente el desempeño de la cadena de suministro. Por ejemplo, como una línea de base, los buenos sistemas de TI registrarán y reportarán a Amazon información sobre la demanda, inventario y surtido de pedidos. Los sistemas de TI con capacidades analíticas permiten a Amazon decidir si abrirá nuevos centros y cómo abastecerlos.

Dado que tanto el reporte como el análisis requieren la disponibilidad de datos de transacciones precisos, el software empresarial constituye el fundamento de un sistema de tecnología de la información en una cadena de suministro. Éste es un espacio que ha madurado desde principios de la década de 1990 hasta principios del siglo XXI con SAP y Oracle como protagonistas. Durante este periodo los proveedores de software empresarial com SAP y Oracle trabajarán para ampliar sus capacidades analíticas mientras que los mejores proveedores de software con capacidad analítica como i2 y Manugistics intentaban proporcionar capacidad a nivel de transacción. Los ganadores fueron los proveedores de software empresarial, y la primera década del siglo XXI contempló una importante consolidación a través de la industria. Consideramos que la evolución de la TI en la cadena de suministro ocurrirá en el contexto de los procesos macro explicados en el capítulo

Procesos macro de la cadena de suministro

El surgimiento de la administración de la cadena de suministro ha ampliado el ámbito en el que las compañías toman decisiones. Este ámbito se ha expandido desde tratar de optimizar el desempeño de la división, luego el de la empresa y ahora el de toda la cadena de suministro. Esta ampliación de ámbito resalta la importancia de incluir todos los procesos de la cadena cuando se han de tomar decisiones. Desde una perspectiva empresarial, todos los procesos dentro de su cadena de suministro pueden clasificarse en tres áreas principales: procesos enfocados hacia abajo, procesos enfocados internamente y procesos enfocados hacia arriba. Usamos esta clasificación para definir los tres procesos macro de la cadena de suministro (vea el capítulo 1) como sigue:

- ***Administración de las relaciones con los clientes (CRM, customer relatioship management).*** Son procesos enfocados en las interacciones hacia abajo entre la empresa y sus clientes.
- ***Administración de la cadena de suministo interna (ISCM, internal supply chain management).*** Son procesos enfocados en las operaciones internas de la empresa. Observemos que la industria del software normalmente designa a esta área como "administración de la cadena de suministro" (sin la palabra "interna"), aun cuando el enfoque ocurre totalmente dentro de la empresa. En nuestra definición, la administración de la cadena de suministro incluye los tres procesos macro: CRM, ISCM y SRM.
- ***Administración de las relaciones con los proveedores (SRM, supplier relationship management).*** Son procesos enfocados en las interacciones hacia arriba entre la empresa y sus proveedores.

Toda la capacidad de operación y analítica relacionada con los procesos macro descansa en el *fundamento de administración de transacciones* (TMF, *Transaction Management Foundatio*n), que incluye sistemas de planeación de recursos empresariales (ERP, *Enterprise Resource Planning*) básicos (y sus componentes, como los recursos financieros y el capital humano), software de infraestructura y software de integración. El software de TMF es necesario para que los tres procesos macro funcionen y se comuniquen entre sí. La relación entre los tres procesos macro y el fundamento de administración de las transacciones se ilustra en la figura 17.1.

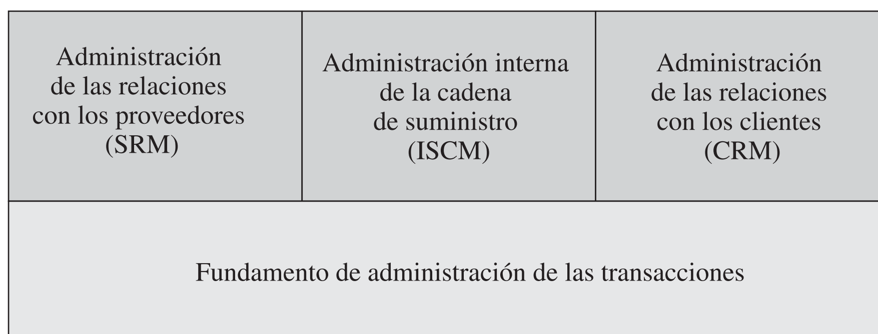


FIGURA 17-1 Procesos macro en una cadena de suministro.

¿Por qué enfocarse en los procesos macro?

A medida que el desempeño de una empresa se relaciona de manera más estrecha con el desempeño de su cadena de suministro, es crucial que las empresas se enfoquen en estos procesos macro. Como lo hemos enfatizado en este libro, una buena administración de la cadena de suministro no es un juego donde ni se gana ni se pierde en el cual una etapa de la cadena de suministro aumenta las utilidades a expensas de otra. La buena administración de la cadena de suministro más bien trata de incrementar el superávit de la cadena de suministro, lo que requiere que cada empresa extienda el alcance más allá de los procesos internos y examine toda la cadena de suministro en términos de los tres procesos macro para lograr un desempeño sobresaliente. Una buena cadena de suministro coordina todos los procesos macro a través de todas las etapas. Apple es un ejemplo de una compañía que ha coordinado todos los procesos macro para introducir y vender productos impresionantes como la iPad2. Apple ha tenido mucho éxito en sus interacciones con los clientes tanto al diseñar productos que satisfacen sus necesidades como también al operar las ventas al menudeo como un esfuerzo exitoso y rentable. Todos sus productos se diseñan dentro de la empresa pero un tercero los fabrica. A pesar de esto, Apple manejó el lanzamiento al mercado de la iPad2 para satisfacer con eficacia la enorme demanda. La fuerte coordinación a través de todos los procesos macro ha sido fundamental para el nivel de éxito obtenido por Apple.

A continuación analizamos cada proceso macro y el rol desempeñado por la TI.

17.3 ADMINISTRACIÓN DE LAS RELACIONES CON LOS CLIENTES

El proceso macro de administración de las relaciones con los clientes (CRM) se compone de los procesos entre una empresa y sus clientes hacia abajo en la cadena de suministro. El objetivo del proceso macro de la CRM es generar la demanda de los clientes y facilitar la transmisión y el seguimiento de los pedidos. La debilidad en este proceso da por resultado que se pierda la demanda y que los clientes tengan una mala experiencia porque los pedidos no se procesan y ejecutan con eficacia. Los procesos fundamentales dentro del proceso macro de CRM son los siguientes:

- ***Marketing.*** Los procesos de marketing comprenden decisiones con respecto a qué clientes se desea captar, cómo captarlos, qué productos ofrecer, cómo fijar su precio y cómo manejar las campañas dirigidas a los clientes. Los buenos sistemas de TI en el área de marketing dentro de la CRM proporcionan capacidades analíticas que mejoran las decisiones de marketing relacionadas con los precios, la rentabilidad del producto y la rentabilidad del cliente, entre otras funciones.
- ***Venta.*** El proceso de venta se enfoca en realizar una venta a un cliente (en comparación con el de marketing, donde los procesos se enfocan más en planear a quién venderle y qué venderle). El proceso de venta incluye proporcionar a los vendedores la información para realizar una venta y luego ejecutarla. La ejecución de la venta puede requerir que el vendedor (o el cliente) construya y configure los pedidos al elegir entre varias opciones y características. El proceso de venta también requiere funcionalidad, como la capacidad de establecer fechas de entrega y de tener acceso a la información relacionada con el pedido de un cliente. Los buenos sistemas de TI apoyan la automtización, configuración y personalización de la fuerza de ventas para mejorar el proceso de venta.

- ***Administración de los pedidos.*** El proceso de administrar los pedidos de los clientes a medida que fluyen a través de una empresa es importante para que el cliente siga su pedido y para que la empresa planee y ejecute el pedido. Este proceso vincula la demanda del cliente con la oferta de la empresa. Los buenos sistemas de TI habilitan la visibilidad de los pedidos a través de las varias por las que fluye un pedido antes de que llegue al cliente.
- ***Centro de atención telefónica o de servicio.*** Un centro de atención telefónica o de servicio es con frecuencia el punto primordial de contacto entre una compañía y sus clientes. Un centro de atención telefónica o de servicio ayuda a los clienes a colocar pedidos, sugiere productos, resuelve problemas y proporcona información sobre el estado de un pedido. Los buenos sistemas de TI han ayudado a mejor las operaciones del centro de atención telefónica o de servicio al facilitar y reducir el trabajo realizado por los representantes de servicio a clientes y al encauzar a los clientes a representantes más capacitados para atender su petición.

Amazon ha realizado un excelente trabajo con la utilización de la TI para mejorar su proceso de CRM. La compañía personaliza los productos presentados para que se adapten a clientes individuales (con base en un análisis de las preferencias de los clientes y clics actuales). Los sistemas que permiten colocar pedidos con un clic facilitan la colocación rápida de pedidos. El pedido está así visible para el cliente hasta que se entrega. En los casos raros, donde un cliente utiliza el centro de atención telefónica, los sistemas están listos para apoyar una experiencia positiva incluyendo el ofrecimiento de devolución de la llamada en caso de que el sistema de atención telefónica esté muy congestionado.

Los cinco proveedores de software CRM en 2008 (reportados por Gartner) eran SAP (22.5%), Oracle (16.1%), Salesforce.com (10.6%), Microsoft (6.4%) y Amdocs (4.9%).

17.4 ADMINISTRACIÓN INTERNA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La ISCM, como explicamos anteriormente, está enfocada en las operaciones *internas* de la empresa. La ISCM incluye todos los procesos que intervienen en la planeación y la ejecución del pedido de un cliente. Los diversos procesos incluidos en la ISCM son los siguientes:

- ***Planeación estratégica.*** Este proceso se enfoca en el diseño de la red de la cadena de suministro. Las decisiones clave incluyen la planeación de la ubicación y capacidad de las instalaciones. Para más detalles sobre decisiones de planeación estratégica vea los capítulos 5 y 6.
- ***Planeación de la demanda.*** La planeación de la demanda consiste en pronosticar la demanda y analizar el efecto en ésta de las herramientas de administración como la fijación de precios y las promociones. Para un análisis más detallado de este proceso, vea el capítulo 7 sobre la pronosticación de la demanda, y también los capítulos 9 y 15 sobre fijación de precios.
- ***Planeación de la oferta.*** El proceso de planeación de la oferta se basa en los pronósticos de la demanda producidos por su planeación y los recursos que la planeación estratégica pone a disposición; luego produce un plan óptimo para satisfacer esta demanda. En general, el software de planeación de la oferta proporciona capacidades de planeación de la fabricación e inventarios. Para un análisis más completo de este proceso, véanse los capítulos 8 y 9 sobre planeación de ventas y operaciones, y los capítulos 11 y 12 sobre administración del inventario.
- ***Ejecución.*** Una vez que se traza un plan para satisfacer la demanda, debe ejecutarse. El proceso de ejecución vincula cada pedido con una fuente de suministro y un medio de transporte específicos. Las aplicaciones de software que generalmente se clasifican dentro del segmento de ejecución son aplicaciones de administración del tranporte y almacenamiento. Para un análisis más completo de este proceso, véase el capítulo 14 sobre transporte.
- ***Servicio de campo.*** Por último, después de que el producto se ha entregado al cliente, tarde o temprano habrá que darle servicio. Los procesos de servicio se enfocan en establecer niveles de inventario de partes de repuesto y programar las visitas de servicio. Algunos de los problemas de programación se manejan como los de planeación agregada, y los de inventario son los problemas típicos de administración del inventario.

Dado que los procesos macro de ISCM pretenden satisfacer la demanda generada por los procesos de CRM, se requiere que exista una sólida intregración entre los procesos de ISCM y CRM. Cuando se

pronostica la demanda, la interacción con el proceso de CRM es esencial, ya que las aplicaciones de CRM están cerca del cliente y cuentan con una gran cantidad de datos y percepción del comportamiento del cliente. Asimismo, los procesos de ISCM deben estar fuertemente integrados con los proceso macro de SRM. La planeación de la oferta, la ejecución y el servicio de campo dependen de los proveedorfes y por consiguiente de los procesos de SRM. Es de poca utilidad que su fábrica tenga la capacidad de producción para satisfacer la demanda si su proveedor no puede abastecer las partes que se requieren para fabricar su producto. La gestión de pedidos, que se explicó bajo el proceso de CRM, debe integrarse estrechamente con la ejecución y ser un aporte para la planeación eficaz de la demanda. Una vez más, la administración extendida de la cadena de suministro requiere que integremos los procesos macro**.**

Los proveedores existosos de software de ISCM han ayudado a mejorar la toma de decisiones entreo los procesos de ISCM. La integración con CRM y SRM, sin embargo, sigue siendo en gran medida inadecuada tanto a nivel organizacional como a nivel de software. Es probable que se presenten oportunidades futuras en parte por la mejora de cada proceso de ISCM, pero aún más por la mejora de la integración con los procesos de CRM y SRM.

Los cinco vendedores más importantes de ISCM en 2007 (según el reporte de Gartner) eran SAP, Oracle, JDA, Ariba, and Manhattan Associates. SAP (22.4%) y Oracle (16%) tenían un segmento del mercado considerablemente más grande que compartir que los otros tres (9.2%) combinados.

17.5 ADMINISTRACIÓN DE LAS RELACIONES CON LOS PROVEEDORES

La administración de las relaciones con los proveedores SRM incluye los procesos enfocados en la interaccion entre la empresa y los proveedores situados corriente arriba en la cadena de suministro. Existe un ajuste natural entre los procesos de SRM y los procesos de ISCM, ya que la integración de las restricciones de los proveedores es crucial cuando se crean planes internos. Los procesos de SRM principales son los siguientes:

- ***Colaboración en el diseño.*** El objetivo de este es mejorar el diseño de los productos mediante la colaboración entre fabricantes y proveedores. El software facilita la selección conjunta (con los proveedores) de componentes que tengan características positivas para la cadena de suministro tales como facilidad de fabricación y aspectos comunes a través de varios productos finales. Otras actividades de colaboración en el diseño incluyen la compartición de órdenes de cambios de ingeniería entre un fabricante y sus proveedores. Esto eliminar los costos retrasos que ocurren cuando varios proveedores están diseñando componentes de forma conjunta para el producto del fabricante.
- ***Aprovisionamiento.*** El software de aprovisionamiento ayuda en la calificación y selección de los proveedores, la administración de contratos y la evaluación de los proveedores. Un objetivo importante es analizar la cantidad que una empresa gasta con cada proveedor, y con frecuencia revela tendencias o áreas valiosas para el mejoramiento. Los proveedores son evaluados de acuerdo con varios criterios clave, incluyendo el tiempo de espera, la confiabilidad, la calidad y el precio. Esta evaluación ayuda a mejorar el desempeño del proveedor y a seleccionar el proveedor. La administración de contratos también es una parte importante del aprovisionamiento, ya que muchos contratos con proveedores incluyen detalles complejos que deben ser rastreados (tales como reducciones de precios relacionadas con el volumen). El software exitososo en esta área ayuda a analizar el desempeño de los proveedores y a administrar los contratos.
- ***Negociación.*** Las negociaciones con los proveedores incluyen muchos pasos, que se inician con una petición de cotización (RFQ, *request for quote*). El proceso de negociación también puede incluir el diseño y ejecución de subastas. El objetivo de este proceso es negociar un contrato eficaz que especifique el precio y parámetro de entrega para un proveedor de modo que se ajuste mejor a las necesidades de la empresa. El software existoso automatiza el proceso de RFQ y la ejecución de las subastas.
- ***Compra.*** El software de “Comprar” ejecuta la adquisición del material con los proveedores. Esto incluye la creación, administración y aprobación de órdenes de compra. El software exitoso en esta área automatiza el proceso de adquisición y ayuda a reducir el tiempo y costo de procesamiento.
- ***Colaboración en el suministro.*** Una vez que se establece un acuerdo de suministro entre la empresa y un proveedor, el desempeño de la cadena de suministro se puede mejorar con la colaboración en los pronósticos, planes de producción y niveles de inventario. El objetivo de la colaboración es garantizar un plan común un plan común a través de la cadena de suministro. Un buen software en esta área debe ser capaz de facilitar la pronosticación y planeación colaborativas en una cadena de suministro.

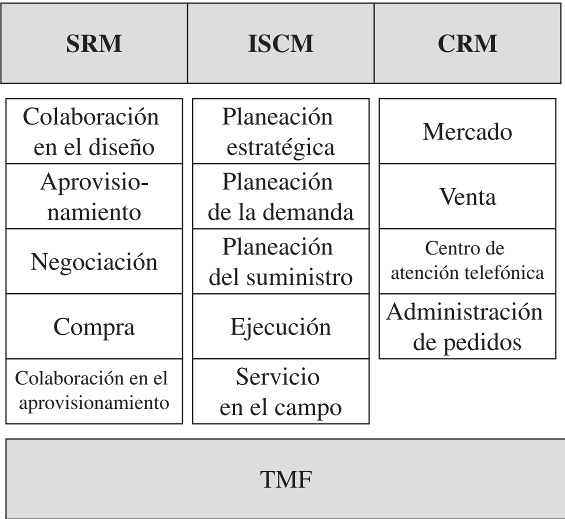


FIGURA 17-2 Procesos macro y sus procesos.

El desempeño de la cadena de suministro puede mejorar considerablemente si los procesos de SRM están bien integrados con los procesos de CRM e ISCM apropiados. Por ejemplo, cuando se diseña un producto, la incorporación de las opiniones de los clientes es una forma natural de mejorar el diseño. Esto requiere aportaciones de los procesos dentro de la administración de las relaciones con los proveedores. El aprovisionamiento, la negociación, las compras y la colaboración se vinculan principalmente en el proceso de ISCM, ya que se requieren las aportaciones del proveedor para producir y ejecutar un plan óptimo. Sin embargo, incluso estos segmentos necesitan interconectarse con los procesos de CRM como la administración de pedidos. Una vez más, el tema de integrar los tres procesos macro es crucial para el desempeño mejorado de la cadena de suministro.

El espacio de la administración de SRM está muy fragmentado en términos de proveedores de software y no está tan bien definido como los de CRM e ISCM. Entre los grandes actores, SAP y Oracle tienen funcionalidad de SRM en su software. Sin embargo, existen muchos nichos para actores enfocados en diferentes aspectos de la SRM.

Los tres procesos macro y sus procesos se pueden ver en la figura 17-2.

17.6 FUNDAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE LAS TRANSACCIONES

El fundamento de administración de las transacciones es la base histórica de las compañías de software empresarial más grandes. A principios de la década de 1990, cuando una gran parte de las ideas de administración de la cadena de suministro empezaban a despegar y los sistemas de ERP ganaban popularidad rápidamente, había poco interés en los tres procesos macro que ya analizamos. De hecho, había poco énfasis en las aplicaciones de software enfocadas en mejorar las decisiones a través de un análisis. En cambio, la atención en esa época se centraba en crear sistemas de administración de transacciones y de automatización de procesos que resultaron ser el fundamento de las futuras aplicaciones de apoyo de las decisiones. Estos sistemas sobresalieron en la automatización de transacciones y procesos sencillos, así como en la creación de una forma integrada de almacenar y ver datos a través de la división (y, a veces a través de la empresa).

La enorme demanda de estos sistemas durante la década de 1990 hizo que los desarrolladores de ERP se convirtieran en las compañías de software empresarial más grandes. Según Gartner, los cinco proveedores de software ERP en 2010 eran SAP, Oracle, Sage Group, Infor Global Solutions y Microsoft.

El valor real del fundamento de administración de las transacciones se puede obtener sólo si se mejora la toma de decisiones dentro de la cadena de suministro. Por tanto, el crecimiento más reciente en el software empresarial se debe a las compañías enfocadas en mejorar la toma de decisiones en los tres procesos macro. Esto estableció el escenario para lo que vemos ahora y seguiremos viendo en el futuro: la transformación de las compañías ERP en compañías de CRM, ISCM y SRM.

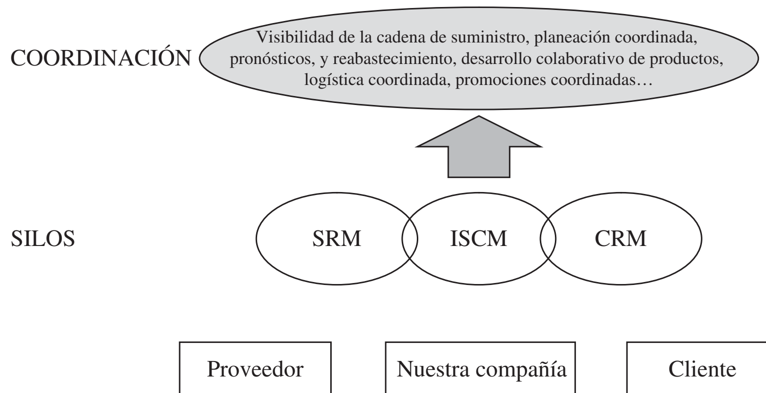


FIGURA 17-3 Objetivo de la TI en la cadena de suministro: desde los silos hasta la coordinación.

A la fecha, la mayor parte de los ingresos de las compañías de ERP proviene de aplicaciones en los tres procesos macro. Una ventaja importante que las compañías de ERP tienen sobre los mejores proveedores de su tipo es la capacidad inherente de integrar los tres procesos macro, a menudo por el fundamento de administración de las transacciones. Las compañías de ERP enfocadas en integrar los procesos macro junto con el desarrollo de una buena funcionalidad en uno o más de estos procesos continuarán ocupando una posición de fortaleza. El objetivo de un sistema de TI exitoso es ayudar a coordinar decisiones y acciones a través de la cadena de suministro. Esto sólo puede suceder si la TI apoya los procesos macro para coordinar y ejecutar los silos en conjunto más que por separado, como se muestra en la figura 17-3.

17.7 FUTURO DE LA TI EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Al más alto nivel, creemos que los tres procesos macro continuarán impulsando la evolución de la TI en la cadena de suministro. Aunque aún hay mucho espacio para mejorar la visibilidad y el reporte de la información de la cadena de suministro, el enfoque relativo sobre el análisis mejorado para apoyar la toma de decisiones seguirá creciendo. Las tres importantes tendencias siguientes afectarán la TI en la cadena de suministro:

1. El crecimiento del software como un servicio (SaaS, *Software as a Service*).
2. Disponibilidad incrementada de datos en tiempo real.
3. Uso incrementado de tecnología móvil.

SaaS se define como un software propiedad de un tercero que se entrega y administra a distancia. Salesforce.com es uno los proveedores más conocidos de Saas puros para la cadena de suministro (en CRM). Gartner ha pronosticado que SaaS (el cual comprendía cerca de 10% del mercado de software empresarial en 2009) crecerá a casi 16% de las ventas de software globales para 2014. Es probable que ocurra este cambio en comparación con aplicaciones que se despliegan en las instalaciones. Estos factores son particularmente importantes para compañías de pequeño y mediano tamaño. Los proveedores de software empresarial tradicionales como SAP, Oracle y Microsoft, están aumentando la disponibilidad de su software mediante utilizando modelo SaaS.

La disponibilidad de información en tiempo real ha explotado en la mayoría de las cadenas de suministro. Mientras que el software de cadena de suministro actual está enfocado sobre todo en mejorar la estrategia y las decisiones de planeación (a menudo a nivel corporativo) que se toman con poca frecuencia, hay una gran oportunidad de idear un software que utilice la información en tiempo real para ayudar al personal de primera línea de la cadena de suministro (tal como en el transporte y almacenamiento) decisiones más inteligentes y más rápidas que se toman con frecuencia. La oportunidad es diseñar sistemas que permitan una percepción rápida basada en datos en tiempo real.

El uso incrementado de tecnología móvil acoplada con información en tiempo real ofrece a algunas cadenas de suministro la oportunidad de ajustar mejor la demanda a la oferta mediante la fijación de precios

diferenciales. Un ejemplo es una iniciativa de Groupon titulada Groupon Now, la cual ofrece a usuarios móviles ofertas que son específicas de un tiempo y un lugar. Los negocios pueden mejorar la rentabilidad con la oferta de gangas cuando el negocio está lento en lugares específicos. Los consumidores se benefician con la obtención de una ganga cuando y donde lo desean. Es probable que tal enfoque sea aplicable en muchos escenarios de la cadena de suministro.

17.8 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN LA TI

Hay varios riesgos asociados con el uso de la TI en la cadena de suministro, y el proceso de agregar nuevas capacidades a la cadena de suministro con la TI puede estar plagado de peligros. Cuanto mayor sea el cambio en el sistema de TI, tanto más grande será el riesgo de un efecto negativo en las operaciones. A mayor arraigo de la TI en las compañías, mayor será el riesgo de que la empresa no pueda funcionar adecuadamente si la TI sufre una falla importante. Aquí comentamos algunos de los riesgos principales impuestos por el uso de la TI en la cadena de suministro y algunas ideas para mitigarlos.

Las áreas principales de riesgo en la TI se pueden dividir en dos categorías generales. La primera, y quizá la más grave, es el riesgo que implica la instalación de nuevos sistemas de TI. Durante el proceso de poner en marcha los nuevos sistemas de TI, una empresa se ve obligada a hacer la transición de los procesos viejos que utilizaba en sus operaciones a los nuevos procesos en su sistema de TI. Los problemas que se pueden presentar involucran tanto a los procesos de negocios como a los aspectos técnicos. Por el lado de los procesos de negocios, los nuevos sistemas de TI a menudo requieren que los empleados operen de acuerdo con nuevos procesos. Éstos pueden ser difíciles de aprender, requerir capacitación para ejecutarlos correctamente, o incluso tal vez se resistan a emplearlos y prefieran la forma anterior de funcionar. Convencer a toda una organización de que acepte los cambios producidos por un nuevo sistema de TI es particularmente difícil porque la alta gerencia no suele participar activamente en esta transición. Además de los ajustes en el proceso de negocios, hay que vencer fuertes obstáculos técnicos para que puedan funcionar los nuevos sistemas de TI. A menudo es abrumador el grado de integración que debe haber entre los diferentes sistemas. Cuando una empresa cambia a un nuevo sistema sin la integración adecuada, el nuevo sistema suele ser incapaz de realizar todo lo que prometió y, a veces incluso funciona peor que el sistema al que reemplazó. Aun cuando los empleados acepten el nuevo proceso y todos los obstáculos técnicos hayan sido superados, a menudo se requiere un equilibrio delicado para llevar a cabo la transición al nuevo sistema.

La segunda categoría de riesgo es que cuanto más dependa una compañía de la TI para tomar decisiones y ejecutar procesos, mayor es el riesgo de que cualquier problema de la TI, desde un pequeño error del software, o una interrupción de la corriente eléctrica, hasta un virus, pueda paralizar por completo las operaciones de una empresa. Estos son riesgos graves que una compañía debe planear cómo enfrentarlos. La TI también plantea un riesgo en el sentido de que tiende a establecer los procesos de forma inamovible. Tal vez un sistema permite que un proceso se ejecute sólo de una forma. Entonces la empresa se acostumbra a realizar siempre este proceso de esa sola manera. Obviamente, esto produce grandes beneficios relacionados con la eficiencia, pero también corre el riesgo de que el proceso no alcance el nivel de desempeño de los competidores y que sus sistemas no permitan cambiar a procesos más nuevos y más eficaces.

Cada una de las categorías de riesgos mayores tiene sus propias estrategias de mitigación. Con respecto a la implementación de sistemas de TI, tengamos presentes tres ideas. La primera es instalar los nuevos sistemas de TI poco a poco en lugar de todos de una vez (como el método conocido como *big-bang*). Esto permite a una empresa limitar el daño en caso de que algo salga mal, e identificar con precisión las áreas problemáticas durante el proceso de instalación. La segunda es que las empresas pueden ejecutar sistemas dobles para asegurarse de que el nuevo sistema esté funcionando bien. Con esto queremos decir que la compañía puede mantener en operación su antiguo sistema jnto con el nuevo. Si el sistema nuevo falla o si los resultados son muy diferentes de los del sistema antiguo, éste se puede utilizar como si aún existiera. De hecho, incluso antes de que el sistema nuevo se ponga en operación, puede estar simulando (en paralelo con el sistema existente) todas las acciones que realizaría. Estas acciones propuestas se pueden monitorear para ver cómo funcionará el nuevo sistema cuando se active realmente. Por último, se debe implementar sólo el nivel de complejidad que se necesite. Si ciertas capacidades o complejidades agregadas no son necesarias, deben omitirse, ya que a menudo pueden aumentar el riesgo del proyecto sin aumentar los beneficios potenciales. En esencia, deseamos adaptar nuestros sistemas de TI a las necesidades de nuestra cadena de suministro, y una de esas necesidades es la reducción de riesgos.

Por el lado operacional, las estrategias de mitigación incluyen sistemas de respaldo de datos, sistemas que se ejecuten en paralelo en caso de que uno sufra un problema, y una variedad de productos de software de seguridad que pueden ayudar a mantener la integridad de los sistemas de la compañía. Además, es importante elegir sistemas que tengan la flexibilidad de cambiar si es necesario.

17.9 TI DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN LA PRÁCTICA

Además de las sugerencias prácticas para cada proceso macro de la cadena de suministro previamente analizadas, los gerentes deben tener en cuenta varias ideas generales cuando tomen una decisión con respecto a la TI para la cadena de suministro.

1. *Seleccionar un sistema de TI que tome en cuenta los factores de éxito de la compañía.* Cada industria e incluso las compañías dentro de una industria pueden tener diferentes factores clave de éxito. Por factores clave de éxito nos referimos a los dos o tres elementos que realmente determinan si una compañía va a tener éxito o no. Es importante seleccionar sistemas de TI para la cadena de suministro que permitan a una compañía obtener una ventaja en las áreas más cruciales para su éxito. Por ejemplo, la capacidad de establecer niveles óptimos es crucial en la industria de las computadoras personales donde los ciclos de vida de los productos son cortos y el inventario se vuelve obsoleto muy pronto. Sin embargo, los niveles de inventario no son tan cruciales para una compañía de productos químicos, donde la demanda es relativamente estable y el producto tiene un ciclo de vida muy largo. Para la compañía de productos químicos, la clave del éxito depende más de la utilización de la instalación de producción. Dados estos factores de éxito, una compañía de computadoras personales podría elegir un paquete cuyo punto fuerte sea establecer niveles de inventario incluso si su punto débil es la maximización de la utilización de la capacidad de producción. Sin embargo, la compañía de productos químicos debe elegir un producto diferente, uno que sobresalga en la maximización de la utilización aunque sus componentes de inventario no son especialmente fuertes.

2. *Dar pasos de incremento progresivos y medir el valor.* Algunos de los peores desastres ocasionados por la TI ocurren cuando las compañías tratan de implementar sistemas de TI en una amplia variedad de procesos al mismo tiempo y lo que consiguen es que sus proyectos fallen (lo que a menudo se conoce como método del *big bang*). El efecto de estas fallas se amplifica porque muchos de los procesos de una compañía están vinculados a la vez en el mismo ciclo de depuración, lo que hace que la productividad se paralice. Una forma de ayudar a garantizar el éxito de los proyectos de TI es diseñarlos de modo que tengan pasos de incremento progresivos. Por ejemplo en lugar de instalar un sistema completo para la cadena de suministro todo a la vez en su compañía, es conveniente comenzar por implementar la planeación de la demanda, y cuando funcione según lo previsto continuar con la planeación de la oferta. Entre tanto, hay que asegurarse de que cada paso agregue valor mediante incrementos en el desempeño de los tres procesos macro. Este método incremental no implica que no debamos adoptar una perspectiva global (de hecho, debemos adoptar una perspectiva global) sino más bien que la perspectiva global debe implementarse en partes asimilables.

3. *Alinear el nivel de complejidad con la necesidad de complejidad.* La gerencia debe considerar la profundidad a que un sistema de TI aborda los factores de éxito de la empresa. Hay una disyuntiva entre la facilidad de implementar un sistema y el nivel de complejidad de éste. Por consiguiente, es importante considerar cuánta complejidad necesita una compañía para alcanzar sus metas y después asegurarse de que el sistema elegido se ajuste a ese nivel. El error de implementar menos complejidad conduce a la empresa a una debilidad competitiva, pero tratar de agregar demasiada complejidad aumenta la posibilidad de que todo el sistema falle.

4. *Usar los sistemas de TI para apoyar la toma de decisiones, no para tomar decisiones.* Aunque el software disponible actualmente puede tomar muchas decisiones relacionadas con la cadena de suministro en lugar de la gerencia, esto no significa que las aplicaciones de TI puedan tomar todas las decisiones. Un error que pueden cometer las compañías es instalar un sistema para la cadena de suministro y luego reducir la cantidad del esfuerzo de la gerencia por resolver problemas de la cadena de suministro. La gerencia debe mantener su atención en la cadena de suministro porque a medida que el panorama de la competencia y los clientes cambia, es necesario realizar los cambios correspondientes en la cadena de suministro.

5. *Pensar en el futuro.* Aunque es más difícil tomar una decisión con respecto a un sistema de TI pensando más en el futuro que en el presente, los gerentes deben incluir el estado futuro del negocio en el proceso

de la toma de decisiones. Si las tendencias en la industria de una compañía indican que algunas características se volverán cruciales en el futuro, los gerentes deben asegurarse de que sus opciones de TI tomen en cuenta estas tendencias. Como los sistemas de TI a menudo duran mucho más años de lo que originalmente se planeó, los gerentes deben dedicar tiempo a explorar qué tan flexible será el sistema si, o más bien cuando, requieren cambios en el futuro. Esta exploración puede ir lo bastante lejos como para incluir la viabilidad del desarrollador del software de cadena de suministro. Si no está claro si una compañía podrá conseguir el apoyo de una compañía de software en el futuro, la gerencia debe asegurarse de que las demás ventajas de este producto compensen esta desventaja. La clave en este caso es asegurarse de que el software no sólo se ajuste a las necesidades actuales de la compañía sino también, y aún más importante, que satisfará las necesidades futuras de la compañía.

17.10 RESUMEN

1. ***Comprender la importancia de la información y de la tecnología de la información en una cadena de suministro.*** La información es esencial para tomar buenas decisiones sobre la cadena de suministro porque proporciona la amplia visión que se requiere para tomar decisiones óptimas. La TI proporciona las herramientas para recopilar esta información y analizarla a fin de tomar las mejores decisiones con respecto a la cadena de suministro.

2. ***Conocer a un alto nivel cómo utiliza la información cada elemento clave de la cadena de suministro.*** Cada uno de los elementos clave de la cadena de suministro que analizamos en capítulos anteriores (instalaciones, transporte, aprovisionamiento y fijación de precios) requiere información para las decisiones que deben tomarse. La información es el componente real en el cual se basarán las decisiones de los demás elementos clave. En esencia, la información es el aglutinante que mantiene unida a toda la cadena de suministro y le permite funcionar; esto hace de la información el elemento clave más importante de la cadena de suministro.

3 ***Comprender las principales aplicaciones de la tecnología de la información en la cadena de suministro y los procesos que habilitan.*** Los procesos de la cadena de sumninistro de una compañía se pueden agrupar en tres procesos macro principales. La CRM incluye procesos que permiten la interacción entre la empresa y sus clientes. La ISCM incluye procesos enfocados en las operaciones internas de una empresa. La SRM incluye procesos que permiten la interacción entre una empresa y sus proveedores. La TI permite habilitar estos procesos y también su integración. Los buenos sistemas de la TI permiten no sólo la recopilación de datos de toda la cadena de suministro, sino también el análisis de las decisiones que maximizan la rentabilidad de la cadena de suministro.

Preguntas para debate

1. ¿Qué procesos dentro de cada proceso macro son más apropiados para habilitarlos por medio de la TI? ¿Cuáles son los menos apropiados?
2. ¿Cuáles son algunas ventajas del software como un modelo de servicio (SaaS)? ¿Por qué ha tenido tanto éxito en el ámbito de la CRM?
3. ¿Por qué las compañías ERP como SAP y Oracle dominan el software de administración de la cadena de suministro?
4. Identifique algunos ejemplos de cuando la disponibilidad de información en tiempo real se ha utilizado para mejorar el desempeño de la cadena de suministro.
5. Analice por qué la industria de alta tecnología ha sido el líder en adoptar sistemas de TI en la cadena de suministro.

Bibliografía

Chopra, Sunil y Peter Meindl. (Enero-febrero 2003). What Will Drive the Enterprise Software Shakeout? *Supply Chain Management Review,* pp. 50-56.

Chopra, Sunil y ManMohan Sodhi. (Otoño de 2004). Managing Supply Chain Risk. *Sloan Management Review,* pp. 53-61.

Davenport, Thomas H. y Jeanne G. Harris. (2007). *Competing on Analytics*, Boston: Harvard Business School Press.

Drayer, Ralph y Robert Wright (Mayo-junio 2002). Getting the Most from Your ERP System. *Supply Chain Management Review,* pp. 44-52.

Escalle, Cedric X., Mark Cotteleer y Robert D. Austin. (1999). Enterprise Resource Planning, Technology Note. Harvard Business School, nota 9-699-020.

Fawcett, Stanley E., Paul Osterhaus, Gregory M. Magnan, y Amydee M. Fawcett. (Octubre 2008). Mastering the Slippery Slope of Technology. *Supply Chain Management Review,* pp. 16-25.

Fontanella, John y Eric Klein. (Abril 2008). Supply Chain Technology Spending Outlook. *Supply Chain Management Review,* pp. 14-20.

Gartner. Inc. (15 de julio 2009). Gartner Says Worldwide CRM Market Grew 12.5 Percent in 2008. Rueda de prensa.

Hoffman, Debra. (Noviembre 2007). Supply Chain Management: Turning Data into Action. *Supply Chain Management Review,* pp. 20-26.

Meyer, Michelle M. (Septiembre-octubre 2001). Why IBM Is Linking Logistics and Information. *Supply Chain Management Review,* pp. 56-62.

O'Dwyer, Jerry y Ryan Renner. (Enero 2011). The Promise of Advanced Supply Chain Analytics. *Supply Chain Management Review,* pp. 32-37.

Rutner, Stephen M., Brian J. Gibson, Kate L. Vitasek y Craig M. Gustin. (Marzo-abril 2001). Is Technology Filling the Information Gap? *Supply Chain Management Review,* pp. 58-64.

Shankar, Venkatesh y Tony O'Driscoll. (Julio-agosto 2002): How Wireless Networks Are Reshaping the Supply Chain. *Supply Chain Managernent Review,* pp. 44-51.

Soni, Ashok, M. A. Venkataramanan y Vincent A. Mabert. (2001). Enterprise Resource Planning: Common Myths vs. Evolving Reality. *Business Horizons* 44(3), pp. 69-76.

White, Andrew. (Segundo trimestre, 2007). Want to Be Agile? Master Your Data. *CSCMF's Supply Chain Quarterly,* pp. 67-71.

18



Sustentabilidad y la cadena de suministro

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, deberá ser capaz de:

1. Comprender la importancia de la sustentabilidad en una cadena de suministro
2. Analizar el desafío a la sustentabilidad planteado por la tragedia de los comunes.
3. Describir las métricas clave que se pueden utilizar para medir la sustentabilidad de una cadena de suministro.
4. Identificar las oportunidades para la sustentabilidad mejorada en varios elementos clave de la cadena de suministro.

La sustentabilidad se ha convertido en una prioridad fundamental en el diseño y operación de las cadenas de suministro en el siglo XXI. Un enfoque en la sustentabilidad permite a una cadena de suministro atender mejor a clientes más conscientes del medio, al mismo tiempo que mejora el desempeño de la cadena de suministro. En este capítulo exploramos la importancia de la sustentabilidad, algunos desafíos para diseñar y operar cadenas de suministro más sustentables, y el rol de diferentes elementos clave de la cadena de suministro para mejorar la sustentabilidad.

18.1 ROL DE LA SUSTENTABIBILIDAD EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Este libro se ha enfocado en el diseño y operación de cadenas de suministro con el objetivo de incrementar el superávit de la cadena de suministro. Sin embargo, cada cadena de suministro es sólo una pequeña parte del mundo en que reside. A fin de cuentas, la salud y la supervivencia de cada cadena de suministro y de cada individuo dependen de la salud del mundo circundante. Es por ello importante expandir el objetivo de una cadena de suministro por encima de los intereses de sus participantes (lo cual representa el superávit de la cadena de suministro) a otros que se pueden ver afectados por las decisiones relacionadas con la cadena. En este contexto el siglo XXI ha visto crecer el interés en la sustentabilidad. La Comisión Brundtaland de las Naciones Unidas definió el desarrollo sustentable como "un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades". La Cumbre Mundial de 2005 de las Naciones Unidas presentó un marco de trabajo que identifica a la sustentabilidad económica, ambiental y social, como los "tres pilares" del desarrollo sustentable, los cuales deben reconciliarse para que ocurra la sustentabilidad.

El enfoque en la sustentabilidad se ha incrementado a medida que las economías en países grandes como Brasil, China e India han crecido. Por un lado, el crecimiento de los mercados emergentes está mejorando los estándares de vida globales en una forma en la que quizás antes no se había dado en la historia humana. Por otro lado, este crecimiento ejerce presión en los recursos y el medio ambiente en una forma que tampoco había sucedido. Cada vez es más evidente

que si las cadenas de suministro no se vuelven más sustentables de lo que han sido en el pasado, los recursos mundiales y el medio ambiente no pueden mantener este nivel de crecimiento.

Los factores que han aumentado el enfoque en la sustentabilidad se pueden dividir en tres distintas categorías:

1. Reducir el riesgo y mejorar el desempeño de la cadena de suministro.
2. Atraer clientes que valoren la sustentabilidad.
3. Hacer que el mundo sea más sustentable.

Se ha debatido mucho sobre las tres categorías, pero se ha observado una acción más concreta encaminada a reducir el riesgo en la cadena de suministro y mejorar el desempeño financiero. Mucho menos éxito se ha derivado de la demanda de los clientes o del deseo de hacer que el mundo sea más sustentable. Es interesante señalar que hay una oportunidad importante aun cuando las cadenas de suministro se enfoquen sólo en reducir el riesgo y mejor el desempeño financiero. Un reporte de McKinsey en focado en las emisiones de gases de invernadero reportó que "Se podría abatir casi 40% [gases de invernadero] con costos marginales negativos, lo que significa que la inversión en estas opciones generaría devoluciones económicas positivas durante su ciclo de vida".

Aun cuando existen muchas necesidades por satisfacer, bastantes compañías han reportado éxito en el mejoramiento de la sustentabilidad. Unilever, el gigante holandés-británico de bienes de consumo, ha invertido un importante esfuerzo en ayudar a economías emergentes como Brasil e India a combatir la pobreza, la escasez de agua y el cambio climático. En Brasil, la compañía ayudó a los productores de tomate a utilizar la irrigación por goteo para ahorrar agua. La mitad de las ventas de la compañía y la mayor parte de su crecimiento provienen de las compañías emergentes. Compra aproximadamente "10% de la cosecha mundial de té y 30% de todas las espinacas".[1] El enfoque en la sustentabilidad ayuda a Unilever a mejorar el medio ambiente y la salud económica de los mercados donde es probable que obtenga la mayor parte de su crecimiento futuro, mientras garantiza el abasto de los productos que necesita para nutrir este crecimiento.

Walmart comenzó su enfoque en la sustentabilidad como un movimiento defensivo ante las críticas que recibía por parte de activistas ambientales. La compañía, sin embargo, ha obtenido muchos beneficios hasta la línea de rentabilidad mínima. El uso de focos más eficientes en sus tiendas y la adición de tragaluces para aprovechar la luz natural han ayudado a reducir considerablemente sus costos de energía. La reducción del empaque ha ayudado a reducir los costos del material y los costos de transporte. Otro ejemplo es el rediseño del envase de leche de un galón realizado por Walmart y Costco para utilizar menos material y aumentar la densidad de la estiba durante el transporte. Aun cuando el público se tardó para aceptar el nuevo diseño, el esfuerzo ahorró "de 10 a 20 centavos por galón en comparación con los envases anteriores".[2]

Starbucks es otro ejemplo de una compañía que se ha enfocado en la sustentabilidad por razones empresariales significativas. A fines de la década de 1990 la compañía se dio cuenta de que sus planes de crecimiento no se podían sostener sin ayudar a los caficultores a incrementar su producción de una manera sustentable. La compañía inció sus prácticas de cultivo justo del café (C.A.F.E., *Cofee And Farmer Equity*), las cuales evalúan la producción sustentable del café en cuatro dimensiones: calidad del producto, responsabilidad económica, responsabilidad social, y liderazgo ambiental. De acuerdo con la compañía, "las dos primeras categorías son prerrequisitos para participar en el programa y garantizar la calidad básica del café, así como la transparencia financiera, equidad, y visisibilidad de la cadena de suministro del café". La responsabilidad social mide el grado al cual las condiciones de trabajo son seguras y humanas. El liderazgo ambiental mide las acciones que los proveedores están aplicando para "manejar los residuos, proteger la calidad del agua, conservar el agua, preservar la biodiversidad y reducir el uso de productos agroquímicos". Los aspirantes reciben el estado de "proveedor preferente" con base en su calificación en las cuatro categorías. Los proveedores preferentes obtienen un bono de $0.05 por libra y términos de contratación favorables. La compañía asegura que en 2010 obtuvo 84% de su café de "terceros verificados o certificados mediante prácticas C.A.F.E, Fairtrade o cualquier otro sistema de auditoría externa". Además de ayudar a atraer a los clientes interesados en la sustentabilidad, estos esfuerzos han ayudado a Starbucks a reducir el riesgo en el abasto y a garantizar el abasto continuo de café de alta calidad, el factor más crítico de su negocio.

[1] Beyond the Green Corporation, "*Business Week*, 29 de enero de 2007.
[2] "Solution or Mess? A Milk Jug for a Green Earth", *New York Times*, 30 de junio de 2008.

La sustentabilidad ha presentado más de un reto cuando requiere esfuerzos que no proporcionan un rendimiento obvio de la inversión de una compañía. De hecho, los clientes mismos no siempre tienen palabras de respaldo sobre la importancia de la sustentabilidad con el deseo de pagar más por productos sustentables. En una encuesta, los líderes del ramo identificaron un insuficiente rendimiento de la inversión, la falta de voluntad de los clientes de pagar más por productos orgánicos, y la dificultad de evaluar la sustentabilidad a través del ciclo de vida del producto como obstáculos importantes para un enfoque incrementado en la sustentabilidad.[3] Cuando las compañías no definen con claridad las razones lógicas para el enfoque incrementado en la sustentabilidad, es mucho más difícil mantener el enfoque necesario para construir cadenas de suministro más sustentables. Como lo explicamos en la siguiente sección, uno de los retos más grandes para construir cadenas de suministro sustentables es que en el corto y mediano plazos un enfoque mejorado en la sustentatibilidad proporciona beneficios compartidos pero costos que pueden ser sólo locales para una empresa, mientras que el *statu quo* actual proporciona beneficios locales a las empresas pero un costo global.

18.2 LA TRAGEDIA DE LOS COMUNES

En un influyente artículo, Hardin (1968) describió la *tragedia de los comunes* como un dilema que surge cuando el bien común no se alinea perfectamente con el bien de entidades individuales. Es útil estudiar su ejemplo con cierto detalle. Consideremos un pastizal que está abierto para todos los pastores de ganado. Cada pastor intenta aprovechar al máximo este activo público. Cuando su ganado se alimenta en el pastizal, gana por su crecimiento y todas las ganancias son sólo para él. Cualquier costo por el pastoreo excesivo, sin embargo, se reparte entre todos los pastores cuyo ganado se alimenta en el pastizal. Por tanto, el pastoreo excesivo de cualquier pastor le reditúa una utilidad de +1, pero una utilidad negativa de sólo una fracción de −1 debido a que la utilidad negativa de −1 se reparte entre todos los pastores. Por tanto, cada pastor sigue aumentando su rebaño porque la utilidad positiva para él de agregar otro animal excede la utilidad negativa que experimenta por pastoreo excesivo. Hardin escribe "En ello está la tragedia. Cada hombre está encerrado en un sistema que lo obliga a incrementar su rebaño sin límite, pero en un mundo límitado. La ruina es el destino hacia el cual todos los hombres se precipitan, donde cada uno persigue sus propios intereses en una sociedad que cree en la libertad de los comunes. La libertad entre los comunes arruina a todos".

Hardin describe entonces cómo el problema de la contaminación ambiental es en esencia la tragedia de los comunes. Cada individuo y cada compañía lanzan residuos y contaminación al medio ambiente en forma de aguas residuales, productos químicos y bióxido de carbono. El individuo o la compañía incurrirían en el costo de reducir la cantidad de residuos que desechan, mientras que el costo de tirar los residuos en el medio ambiente lo comparte todo el mundo. El ambiente común disponible para todos sin costo dificulta el que cada compañía invierta en esfuerzos para la reducción de desperdicios aun cuando esto perjudique a todos.

Este problema también surge a nivel de países. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change), un órgano de la Naciones Unidas que ha estado evaluando el calentamiento global desde 1990, ha escrito que aunque la mayor parte de la acumulación de bióxido de carbono en la atmósfera proviene de Estados Unidos y Europa Occidental, es probable que la países cercanos al ecuador paguen el precio más alto. El riesgo de sequías, suministros de agua agotados, y la elevación del nivel de los océanos por la fusión de capas de hielo a consecuencia del calentamiento global será mayor en África y en las "atestadas deltas de ríos en el sur de Asia y Egipto, junto con naciones insulares pequeñas".[4] En tal escenario, llegar a un acuerdo sobre una acción es difícil porque la acción conjunta óptima no es individualmente óptima, ya sea a nivel de país o de compañía. ¡Con razón ha sido casi imposible negociar un acuerdo sobre cambio climático al que todos los países deseen adherirse! Otros ejemplos de la tragedia de los comunes provienen del uso excesivo de los recursos naturales como peces, agua, y bosques. La pesca excesiva de esturiones en Rusia y la destrucción de las rutas de salmones en ríos que han sido condenados están bien documentadas.

[3] "Gibbs & Soell Survey", consultada el 1 de mayo de 2011, en www.cnbc.com/id/42432191/
[4] Revkin, Andrew C. "Poor Nations to Bear Brunt as World Warms". *New York Times*, 1 de abril de 2007

Cada compañía y cadena de suministro enfrenta el reto de la tragedia de los comunes ya que opera en un entorno global. Deben competir con otras que pueden estar obteniendo beneficios. Deben competir en un mercado donde los clientes a menudo valoran el costo bajo y no están dispuestos a pagar el precio de una solución más sustentable, en la forma de un precio más alto o de un consumo reducido. A menos que los clientes cambien de repente su forma de pensar, es difícil imaginar una solución sustentable que surja sin alguna intervención. Mientras todos están de acuerdo en la necesidad de intervención, hay un desacuerdo considerable en la forma de hacerlo.

¿Cuáles son algunas soluciones a esta "Tragedia"?

En su artículo Hardin se concentró en el problema que surge del hecho de que los comunes son "gratuitos" para todos. Como lo señala, no se puede llegar a ninguna solución sin confiscar una parte de la libertad que los participantes disfrutan en los comunes. Con respecto a los parques nacionales en Estados Unidos, escribió, "Podríamos venderlos como propiedad privada. Podríamos conservalos como propiedad pública, pero asignar el derecho de entrar a ellos. La asignación se podría basar en la salud, mediante el uso de un sistema de subasta. Se podría basar en el mérito, definido según algunos estándares acordados. Podría ser mediante una lotería. Podría ser mediante administración de largas colas, donde el primero en llegar es el primero en ser atendido. Pensamos que todas estas soluciones son objetables. Pero debemos elegir, o consentir en la destrucción de los comunes que llamamos nuestros Parques Nacionales". En lugar de enfocarse en la muchas ideas de Hardin, es importante darnos cuenta de que su argumentación es la necesidad que tenemos de elegir entre opciones que probablemente no sean apoyadas por todos por su propia voluntad.

En el artículo, Hardin introduce la idea de "coacción mutua", por medio de la cual acuerdos o mecanismos sociales coaccionan a todos los participantes a comportarse en una forma que ayuda el bien común. La coacción mutua se puede intentar mediante un método de mando y control o mecanismos de mercado. En el método de mando y control, el gobierno o reguladores establecen normas que todos deben cumplir. Un ejemplo son las normas de emisión de monóxido de carbono establecidas por Estados Unidos para automóviles nuevos. Otro ejemplo es la directiva sobre desechos de equipos electrónicos y eléctricos (WEEE, *Waste Electrical and Electronic Equipment*) de la Unión Europea que busca un reciclaje apropiado y prohíbe los tiraderos en la industria eléctrica y electrónica. El desafío con los métodos de mando y control es que tienden a ser inflexibles y rara vez son baratos.

Damos un par de ejemplos de mecanismos de mercado que se han debatido (¡pero que en octubre de 2011 aún no se habián implementado en Estados Unidos!) en el contexto de gases de invernadero, un problema que está empeorando a medida que las cadenas de suministro se vuelven más globales. En la actualidad, no existe ningún "cobro" por la emisión de gases de invernadero ni límites explícitos estrictamente establecidos. Los comunes en este caso son el medio ambiente, y la falta de cualquier "coacción mutua" conduce a una excesiva emisión de gases de invernadero a la atmósfera. La esperanza es establecer un mecanismo que pueda abordar sustentablemente el problema.

Un mecanismo conocido como "comercio de derechos de emisión" (*cap and trade*) restringe las emisiones agregadas mediante la creación de un número limitado de permisos de emisión negociables que las fuentes emisoras deben asegurar y entregar en proporción a sus emisiones. Cualquier falla de entrega del número adecuado de permisos totales conduce a una multa significativa. El mecanismo se inicia con la creación por parte del gobierno de un número limitado de permisos totales que se distribuyen entre todos los participantes en la economía. Si los participantes generan menos emisiones que los permisos que poseen, pueden vender sus permisos sobrantes a otros que pueden contaminar por encima de su límite y que necesitan permisos adicionales. El "precio" de los permisos en este mecanismo dependerá de su oferta y demanda. Este mecanismo ofrece a las compañías un incentivo para reducir sus emisiones porque obtienen una recompensa financiera por esta mejora al vender los permisos adicionales a aquellas compañías que no pueden reducir sus emisiones. La esperanza con este mecanismo es que las compañías elegirán la forma menos cara para cumplir con los límites de emisiones, implementando planes de reducción de emisiones o comprando permisos en el mercado abierto. Este mecanismo enfrenta varios retos, sin embargo. El primero tiene que ver con el método utilizado para evaluar los permisos iniciales otorgados a cada entidad. ¿Deben ser en proporción a los niveles de contaminación actuales o a los niveles de contaminación deseados? ¿Cómo deben calcularse los niveles de contamina-

ción deseados? ¿Cómo debe determinarse la multa si una compañía no es capaz de proporcionar permisos por sus emisiones en un año dado?

Un segundo mecanismo para controlar las emisiones es un impuesto sobre emisiones. Cada entidad que genere gases de invernadero paga un impuesto proporcional a la cantidad de las emisiones. Esto es similar en principio a la tarifa basada en el congestionamiento analizada para administrar la congestión del tráfico (vea el capítulo 14). Un cobro por emisiones hará que las compañías reduzcan sus emisiones utilizando todas las ideas cuyo costo marginal sea menor que el cobro. Como resultado de un impuesto sobre emisiones, la cantidad total de gases de invernadero producidos se reducirán. Este mecanismo también enfrenta varios retos. ¿Cuánto se debe cobrar por las emisiones? ¿A qué grado dañará el cobro la economía?

Las respuestas a cada pregunta tienen un impacto significativo en el desempeño de ambos mecanismos. Aún hay un debate considerable entre los expertos sobre cada tema, dada la incertidumbre en la capacidad de estimar el costo para la sociedad por estas emisiones. Aún persiste el reto significativo de si estos mecanismos se pueden implementar al nivel de país o deben coordinarse globalmente. Éste es un tema particularmente importante dado que la mayor parte de las emisiones existentes proviene del mundo desarrollado, mientras que, con el crecimiento global, es probable que una parte cada vez más grande de las emisiones futuras provenga de economías que aún están en desarrollo.

18.3 MÉTRICAS CLAVE PARA MEDIR LA SUSTENTABILIDAD

Como mencionamos anteriormente, muchas acciones efectuadas en una cadena de suministro pueden mejorar tanto la sustentabilidad como el superávit de la cadena de suministro. Por ejemplo, el diseño modular de IKEA permite a la compañía empacar ajustadamente sus piezas cuando las envía de la planta de producción a sus tiendas detallistas. El diseño modular permite a la compañía reducir al mismo tiempo las emisiones así como sus costos de transporte. SC Johson, un fabricante de productos de limpieza y otros bienes de consumo, reportó que entre 1990 y 1999 la compañía utilizó sus esfuerzos de eficiciencia ecológica para reducir más de 420 millones de libras de residuos y ahorra $125 millones. En escenarios como estos, en los cuales el mejoramiento de la sustentabilidad también mejora el desempeño financiero de la cadena de suministro, nos podemos enfocar en métricas financieras para evaluar los esfuerzos de sustentabilidad. La mayoría de los esfuerzos relacionados con la sustentabilidad, sin embargo, tienen un costo en el que incurre la cadena de suministro por un beneficio que puede ser más universal. En tales situaciones es importante una definición de métricas explícitas que se puedan utilizar para juzgar los esfuerzos relacionados con la sustentabilidad en la cadena de suministro. En esta sección identificamos algunas categorías y métricas importantes en las que puede enfocare cadena de suministro.

Una hojeada a varios reportes de responsabilidad social corporativa (CSR, *Corpotate Social Responsibility*) muestra algunas coincidencias pero también muchas divergencias en términos de las métricas elegidas para reportar. Todas las compañías reportan algunas métricas sociales y ambientales. Sin embargo, existe una gran variación, en términos de las métricas precisas reportadas. Por ejemplo, las compañías de transporte tienden a reportar sobre emisiones de gases de invernadero, consumo de combustible y eficiencia de transporte mientras que las compañías farmacéuticas se concentran más en el manejo de los residuos y el consumo de agua. Desde una perspectiva ambiental, todas las compañías deben medir y reportar sobre estas cuatro categorías:

1. Consumo de energía
2. Consumo de agua
3. Emisiones de gases de invernadero
4. Generación de desechos

Existen dos retos fundamentales en una cadena de suministro en la medición y reporte de las cuatro categorías. El primer desafío tiene que ver con el ámbito al cual se mide la categoría. Consideremos una compañía que reporta sólo sobre consumo de energía dentro de sus propias operaciones. Si decide subcontratar una parte de la producción a un proveedor de localización externa, su consumo de energía se reducirá aun cuando el consumo en toda la cadena de suministro puede haberse incrementado. Si decide trasladar algo de la producción a su planta o cerca de ésta, el consumo de energía dentro de sus operaciones

mostrará un incremento aun cuando el consumo de energía de toda la cadena de suministro se haya reducido. Por tanto, es importante definir con claridad el ámbito a través de todas las métricas que se miden y reportan. En el contexto de emisiones de gases de invernadero, la iniciativa de Protocolo sobre Gases de Invernadero (CHG Protocol)[5] define tres niveles de ámbito. El ámbito 1 se refiere a emisiones de GHG que son propiedad o están controladas por la entidad que reporta, también conocidas como emisiones directas. El ámbito 2 se refiere a emisiones indirectas producidas por una red interconectada de suministro de electricidad y otros servicios, incluyuendo calor, vapor y enfriamiento. El ámbito 3 se refiere a la inclusión de otras emisiones indirectas provenientes de la producción de materiales comprados, actividades subcontratadas, vehículos propiedad del contratista, disposición de desechos y viajes de negocios de los empleados. Para la mayoría de las empresas la cantidad de emisiones directas suele ser sólo una pequeña parte de la cantidad de emisiones indirectas en la cadena de suministro. Por ejemplo, un análisis detallado de la compañía farmacéutica Abbott indicó que las emisiones indirectas eran aproximadamente de 6 a 14 veces sus emisiones directas. Idealmente, todas las categorías deben medirse a través de toda la cadena de suministro desde el consumidor hasta el proveedor de nivel más bajo para captar el impacto completo de la cadena de suministro en el medio ambiente.

El segundo reto en la medición y reporte se relaciona con el uso de medidas absolutas o relativas de desempeño. Una medida absoluta reporta la cantidad total de consumo de energía, mientras que una medida relativa puede reportar la energía consumida por unidad de producción. La ventaja de utilizar una medida absoluta es que reporta el impacto completo de la cadena de suministro (suponiendo que utilizamos el ámbito 3) a lo largo de la categoría que se está midiendo. La desvenaja es que una caída de las ventas y producción en la cadena de suministro (por ejemplo, una recesión) mostrará una medida absoluta mejorada de consumo de energía aun cuando quizá la compañía no haya cambiado nada. Una medida de desempeño relativa es más eficaz para captar la mejora. El desafío de utilizar una medida relativa es la selección de la unidad básica porque cada categoría se puede medir con respecto a dólares de ventas, kilogramos de producción, o una variedad de otras unidades. En general, es mejor que las compañías midan y reporten tanto medidas absolutas como relativas para tener una idea verdadera de su desempeño.

18.4 SUSTENTABILIDAD Y ELEMENTOS CLAVE DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Las oportunidades para mejorar la sustentabilidad de la cadena de suministro se pueden identificar compaginando las cuatro categorías que describimos (energía, consumo, consumo de agua, emisiones de gases de invernadero) con los diversos elementos clave de la cadena de suministro analizados en el libro. El objetivo es que cada compañía mida su impacto ambiental de cada elemento clave de acuerdo con cada una de las cuatro categorías. En esta sección analizamos algunas de las oportunidades disponibles para cada elemento clave y proporcionamos algunos ejemplos.

Instalaciones

Las instalaciones tienden a ser consumidoras significativas de energía y agua, y emisoras de residuos y gases de invernadero y por tanto ofrecen oportunidades importantes para un mejoramiento rentable. Una vez que una compañía mide el impacto directo de cada instlación en términos de energía, agua, emisiones y residuos, debe separar las oportunidades de mejoramiento en aquellas que generan flujos de efectivo positivos y aquellas que no. Las compañías exitosas comienzan identificadndo e implementando primero los proyectos rentables. De acuerdo con su reporte CRS de 2011, Walmart ha diseñado y abierto un prototipo de tienda viable que es hasta 25 a 30% más eficiente en cuanto a consumo de energía y produce hasta 30% menos emisiones de gases de invernadero en comparación con la línea de referencia de 2005. Con la utilización de focos ahorradores de energía y la construcción de tragaluces para aprovechar la luz natural ha reducido su consumo de energía en sus tiendas. Walmart también ha trabajado para convertir el manejo de residuos en sus tiendas de generador de costos en generador de utilidades. La compañía reportó que en California se ha retirado de los tiraderos y reciclado más de 80% de los residuos, para producir ingresos.

---

[5] Consultada el 2 de mayo de 2001, en www.ghgprotocol.org.

Otro ejemplo de mejoramiento rentable proviene de utilizar tecnología para equilibrar la carga pico de energía a través de una cadena de tiendas de conveniencia. Escalonando adecuadamente el tiempo que los acondicionadores de aire y congeladores permanecen encendidos en sus tiendas, la cadena puede reducir la demanda pico de energía a través de la red de tiendas con el resultado de costos más bajos para la cadena y una demanda reducida de carga pico en la red.

A menudo las instalaciones de producción tienen la oportunidad significativa de reutilizar la energía térmica generada y reducir el consumo de agua durante el proceso. Coca-Cola ha trabajo duro para reutilizar la energía térmica de las calderas en su proceso de producción y reducir su consumo total de agua. Lee (2010) da el ejemplo de Posco, que trabajó con su proveedor de equipo, Siemens VAL, para crear un nuevo proceso de producción que reducía los cosots y emisiones sin dañar la calidad del producto utilizando mineral de hierro local de baja calidad pero menos caro. En consecuencia, Posco redujo el costo de una trituradora nueva de 6 a 17% y redujo 15% sus costos de operación, al mismo tiempo que producía bajos niveles de gases de invernadero y otros residuos. Como estos ejemplos lo ilustran, las instalaciones a menudo ofrecen las mejores oportunidades para mejora al mismo tiempo los desempeños ambiental y financiero a través de la innovación.

Inventario

La mayoría de las cadenas de suministro se enfocan en las materias primas, el trabajo en proceso, y el inventario de productos terminados como hemos visto en este libro, pero pocas se enfocan en el inventario que yace en un basurero común. Aun cuando quizás el inventario en el basurero no aparezca en el balance general de una compañía, sí aparece como uno de los aspectos más dañiños desde una perspectiva de sustentabilidad. El daño puede ser en la forma de aditivos dañiños o de energía valiosa y materiales que aún se encuentran en el basurero. Se puede decir que el desecho más importante en cualquier cadena de suministro ocurre cuando un producto se tira en el basurero porque tanto los materiales como la energía utilizados para fabricar el producto se pieden para siempre y que en potencia causan daño. El objetivo de toda cadena de suministro debe ser dar seguimiento a su inventario del basurero y separarlo en términos de aditivos dañiños y valor no utilizado. La valoración del ciclo de vida (LCA, *life cycle assesment*) para evaluar los impactos ambientales asociados con la vida de un producto desde la cuna hasta la tumba. El objetivo debe ser reducir (o al menos limitar) el inventario dañiño y liberar el valor no utilizado en los productos cuando se desechan.

McDonough y Braungart (2002) analizan la importancia del diseño "de la cuna a la cuna" si en verdad deseamos limitar el inventario del basurero generado por una cadena de suministro. Sugieren diseñar productos, "que, cuando se termine su vida útil no se conviertan en un desecho inútil, sino que se puedan arrojar al suelo para que se descompongan y se transformen en alimento para plantas y animales, o bien en nutrientes para el suelo; o, alternativamente, que se puedan regresar a ciclos industriales para abastecer materias primas de alta calidad para productos nuevos". Walmart, por ejemplo, redujo en 14.5% la cantidad de fostatos dañiños en los detergentes para ropa y trastes en Estados Unidos en 2011, con el objetivo de lograr una reducción de 70%. La compañía también rediseñó el empaque para eliminar l 91% de tarimas para alhajas y fabricar todas sus cajas de alhajas con materiales reciclados.

Transporte

El transporte es otro elemento clave donde es posible que las compañías encuentren varios flujos de efectivo positivos. Cualquier innovación en el diseño de una cadena de suministro que reduzca los costos de transporte también tiende a reducir las emisiones y los residuos generados por el transporte. En su reporte CSR de 2011, Walmart reportó que en Estados Unidos se redujo la cantidad de combustible utilizada para entregar una caja de producto en 65% entre 2005 y 2010. Este mejoramiento por agregación incrementada, una carga más eficiente de los vehículos de transporte, y un aumento en su eficiencia del consumo de combustible reduce tanto el costo como el daño ambiental. Lee (2010) cita cuatro compañías: Hewlett-Packard, Electrolux, Sony y Braun, que han formado una empresa conjunta, la Plataforma de Reciclado Euroopea, para obtener mejores economías de escala en sus esfuerzos de reciclado. Lee reporta que el costo de HP de reciclar cámaras digitales es de sólo 1 o 2 centavos de euro en países con la plataforma ambiental, en comparación con 7 centavos de euro a 1.24 euros en países sin la plataforma.

El diseño de un producto también puede desempeñar un papel importante al reducir el costo de transporte y las emisiones con un empaque menor, lo que permite una mayor densidad duante el transporte. IKEA siempre ha trabajado duro para diseñar productos que se puedan enviar planos para lograr un alto volumen y densidad de peso durante el transporte. Como resultado, la compañía no sólo disminuye sus costos de transporte, sino también reduce las emisiones y el consumo de energía.

Aprovisionamiento

Para la mayoría de las empresas, gran parte del consumo de energía y agua así como los residuos y emisiones ocurre en la cadena de suministro extendida fuera de su propia empresa. Por tanto, para realmente tener un impacto en la sustentabilidad, los participantes poderosos deben examinar la cadena de suministro extendida y trabajar con sus proveedores para mejorar el desempeño. Como previamiente lo mencionamos, el programa C.A.F.E. en Starbucks alienta a los proveedores a mejorar sus calificaciones de responsabilidad social y ambiental proporcionando una bonificación en el precio. Walmart e IKEA también tienen un conjunto de objetivos dinámicos para que sus proveedores mejoren la sustentabilidad total de la cadena de suministro. La omisión de trabajar con los proveedores en la sustentabilidad también debe considerarse como una fuente potencial de riesgo que puede dañar considerablemente la reputación y las ventas de una empresa. El que hubiera pintura a base de plomo en algunos de sus juguetes más populares, obligó a Mattel a retirar cientos de miles de juguetes vendidos entre abril y julio de 2007.[6] La verificación y segumiento del desempeño de un proveedor con respecto a sustentabilidad, sin embargo, sigue siendo un reto importante para la mayoría de las empresas. Este esfuerzo ha llegado a ser cada vez más difícil a medida que las cadenas de suministro son más globales y dispersas.

Información

Una buena información sigue siendo uno de los mayores retos para la sustentabilidad mejorada de una cadena de suministro. Al no haber estándares de medición se han hecho afirmaciones de mejoramiento que no son verificables. En el corto plazo, esto ha llevado a las compañías a estándares específicos y a una explosión de certificaciones y agencias de certificación. Las compañías hablan de trabajar hacia un conjunto común de estándares, pero es improbable que tales estándares surjan porque los incentivos no están alineados a través de las diferentes empresas. Esto plantea un reto tanto dentro de las compañías como a través de las cadenas de suministro cuando se trata de mejorar la sustentabilidad. Los estándares C.A.F.E. y la calificación de los proveedores son son un esfuerzo realizado por Starbucks para hacer que los proveedores se enfoquen en la sustentabilidad. Plambeck (2007) describe los esfuerzos de Walmart para medir y motivar tanto a los proveedores como a sus asociados. Para reducir el embalaje, Walmart implementó una tarjeta de calificaciones basada en la Web que evaluaba el embalaje de cada producto de acuerdo con nueve métricas como utilización cúbica y el contenido reciclado. Se utilizó esta tarjeta para medir y reconocer las mejoras en el embalaje. Aun cuando quizá los estándares universales no sean posibles, el uso de tarjetas de calificación consistentes dentro de una cadena de suministro puede recorrer un largo camino hacia la alineación de los esfuerzos de sustentabilidad de todos los miembros de la cadena de suministro extendida.

Fijación de precios

La visibilidad del consumo y la fijación de precios diferenciales por carga u hora del día tienen el potencial de provocar una importante diferencia en el consumo de energía de los clientes. Algunos estudios han demostrado que cuando las personas pueden ver cuánta electricidad están consumiendo y el efecto de apagar diferentes aparatos eléctricos, su consumo se reduce entre 10 y 15%. Si esta visibilidad se asocia con la electricidad de precio bajo en horas de baja demanda, existe la posibilidad de reducir la demanda de carga pico. En general, el incremento de la visibilidad del impacto ambiental de los productos puede ayudar a los clientes a hacer elecciones más informadadas, en especial cuando la elección sustentable cuesta más.

Uno de los mayores desafíos para la sustentabilidad mejorada de una cadena de suministro es cambiar la disposición del cliente de pagar por un producto que una cadena de suministro produce y distribuye de una manera más sustentable pero que termina costando más. Incluso una compañía como Walmart, que se enfoca en la sustentabilidad mejorada, no tiene objetivos en cuanto al consumno de energía renovable porque

[6] Story, Louise, "Lead Paint Prompts Mattel to Recall 967,000 Toys". *New York Times*, agosto de 2007.

estas fuentes son costosas en comparación con otras fuentes de energía. En el corto plazo, los incentivos del gobierno que apoyan a algunos productos sustentables pueden ayudar. Por ejemplo, en 2011 el vehículo eléctrico Leaf de Nissan calificó para un crédito fiscal federal de $7,500 en Estados Unidos. En el largo plazo, sin embargo, la sustentabilidad no se puede mejorar en una cadena de suministro simplemente con enfocarse en reducir los costos o el uso de incentivos. Los esfuerzos dirigidos a la sustentabilidad incrementada cobrarán velocidad una vez que los clientes la valoren más, lo que permitirá a las cadenas de suministro incrementar su superávit por ser sustentables.

18.5 CADENAS DE SUMINISTRO DE CICLO CERRADO

Como ya antes lo explicamos, las cadenas de suministro en general provocan un daño importante al medio ambiente cuando su producción termina en un basurero. Una de las mayores oportunidades de mejorar la sustentabilidad es que las empresas diseñen productos que se puedan reutilizar y reciclar. En la práctica no basta con diseñar un producto reciclable. El producto tiene que ser apoyado por una cadena de suministro que garantice el reciclado. Sin el apoyo de la cadena de suministro, ¡incluso los productos reciclables terminan en el basurero! En esta sección planteamos algunos desafíos con el desarrollo de cadenas de suministro de ciclo cerrado que pueden recuperar rentablemente los productos de los clientes y recuperar su valor al reutilizar todo el producto o una parte de él. Guide y Van Wassenhove (2009) proporcionan un excelente análisis de las cadenas de ciclo cerrado.

Estos mismos autores describen tres escenarios en los que la cadena de suministro puede manejar las devoluciones. En el primero, el cliente devuelve un producto porque está defectuoso o porque ha decidido durante el periodo de devolución que no le es necesario. Si el producto está defectuoso, la cadena de suministro tiene que ser capaz de realizar cualquier reparación menor (que puede ser tan simple como una limpieza) y reintroducirlo en el mercado. Cuando el cliente ha utilizado el producto a lo largo de su vida útil y está listo para desecharlo, el producto se deposita en el bote de la basura o puede ser retomado por la cadena de suministro. Echar el producto a la basura daña el medio ambiente. Incluso si el producto se devuelve a la cadena de suministro, se tienen que abordar varios temas para obtener las ganancias ambientales. Algunas de las partes devueltas probablemente se puedan reconstruir y utilizar para producir otros artículos. Las demás partes deben ser recicladas con éxito. Se presentan las tres siguientes situaciones: Las devoluciones del cliente se tienen que reparar, las devoluciones al final de uso se tienen que reconstruir y las devoluciones al final de su vida se tienen que reciclar. Además de los retos técnicos de realizar cada tarea, uno de los retos más considerables es diseñar productos y cadenas de suministro en las que estas tareas se puedan realizar económicamente. De hecho, muchas ciudades en Estados Unidos (incluso Nueva York) redujeron sus esfuerzos de reciclado a principios del siglo XXI debido a que su costo era alto y el mercado de productos reciclados era débil.

Ya sea que los productos se tengan que reparar, reconstruir o reciclar, los intereses económicos de las partes involucradas deben entenderse y alinearse para que se realicen las actividades. Por ejemplo, ¿gana o pierde una compañía económicamente al vender productos reconstruidos junto con nuevos? ¿Cómo puede una compañía garantizar un acceso suficinte a productos usados si planea reconstruirlos? ¿Quién debe hacerse responsable de recolectar productos usados (el detallista, el fabricante o un tercero)? ¿Qué incentivos deben implementarse para que los intereses económicos de toda la cadena de suministro se alineen en un escenario como ese? ¿Cambian las decisiones si los productos tienen un ciclo de vida corto o largo? Surge otro tema con respecto al diseño de componentes durables para poderlos reconstruir. A menudo a los proveedores no les interesa aumentar la durabilidad de los componentes porque pueden reducir las ventas de sus productos. ¿Qué incentivos se requieren para que diseñen y produzcan artículos durables? Las respuestas a estas preguntas determinan a qué grado serán sustentables las cadenas de suministro.

18.6 RESUMEN

1. ***Comprender la importancia de la sustentabilidad en una cadena de suministro.*** A medida que las cadenas de suministro se han globalizado y los países emergentes han crecido, cada vez es más evidente que los recursos del mundo y el medio ambiente no serán capaces de apoyar este crecimiento a menos que

las cadenas de suministro se vuelvan más sustentables. Además de la necesidad de hacer el mundo más sustentable, un enfoque aumentado en la sustentabilidad ha permitido que algunas cadenas de suministro reduzcan el riesgo, se vuelvan más eficientes, e incluso que atraigan más clientes que valoren sus esfuerzos.

2. ***Analizar el desafío a la sustentabilidad planteado por la tragedia de los comunes***. Muchas acciones que mejoran la sustentabilidad de una cadena de suministro implican costos locales (para un individuo, una empresa, cadena de suministro o país) pero que proporcionan beneficios comunes que son más globales. Por el contrario, la indiferencia hacia la sustentabilidad proporciona beneficios locales pero costos que se comparten globalmente. En consecuencia, puede ser difícil alentar la sustentabilidad sin alguna presión externa en la forma de un mandato público o incentivo económico.

3. ***Describir las métricas clave que se pueden utilizar para medir la sustentabilidad de una cadena de suministro.*** La sustentabilidad de una cadena de suministro se puede medir en términos de consumo de energía, consumo de agua, emisión de gases de invernadero y generación de desechos. Es importante que estas métricas se rastreen a través de un ámbito lo más amplio posible de la cadena de suministro.

4. ***Identificar las oportunidades para la sustentabilidad mejorada en varios elementos clave de la cadena de suministro.*** Las instalaciones se pueden rediseñar para reducir tanto el consumo de energía como las emisiones. Los productos deben diseñarse con una filosofía "de la cuna a la cuna" para reducir el inventario que yace en el basurero e incrementar la reutilización del material. Diseñar los procuctos para limitar el embalaje y mejorar la densidad de transporte ayuda a reducir los costos y también las emisiones durante el transporte. Dado que una empresa es sólo una pequeña fracción del impacto de una cadena de suministro en el medio ambiente, es crítico que los participantes poderosos trabajen con la cadena de suministro extendida para mejorar la sustentabilidad. Evidentemente, los estándares definidos para medir y reportar el desempeño son imporantes para que la sustentabilidad mejore a través de las cadenas de suministro. Por último, un elemento clave importante de la sustentabilidad mejorada será la disposición de los clientes de recompensar a las cadenas de suministro exitosas.

Preguntas para debate

1. ¿Cuáles son algunos de los beneficios de la sustentabilidad mejorada de una cadena de suministro?
2. ¿Cuáles son algunos desafíos que limitan el esfuerzo realizado por las cadenas de suministro para mejorar la sustentabilidad?
3. Describa la "tragedia de los comunes" en el contexto de sustentabilidad de la cadena de suministro. ¿Cuáles son algunos mecanismos de "coacción mutua" que se podrían implementar para motivar la sustentabilidad de una cadena de suministro?
4. ¿Cuáles son algunos problemas con empresas que reportan su desempeño de sustentabilidad con base en métricas que no consideran su cadena de suministro extendida?
5. Estudie los reportes CSR de un par de empresas. Idenfique acciones a través de algunos elementos clave de la cadena de suministro que han mejorado la sustentabilidad. ¿Qué áreas ha identificado la compañía que representen un reto para mejorarlas?
6. Incluso si un producto se diseña para que sea reciclable, analice algunos retos que se presentan al diseñar una cadena de suministro de ciclo cerrado que sea capaz de reciclar de una manera sustentable.

Bibliografía

Creyts, Jon, Anton Derkach, Scott Nyquist, Ken Ostrowski y Jack Stephenson. (Diciembre 2007). *Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions: How Much at What Cost?* McKinsey & Company.

Guide. V., Daniel R. Jr. y Luk N. Van Wassenhove. (Enero-febrero 2009). The Evolution of Closed Loop Supply Chains". *Operations Research 57,* pp. 10-18.

Hardin, Garrett. (1968). The Tragedy of the Comnons. *Science* 162, pp. 1243-1248.

Hawken, Paul, Amory Lovins y L. Hunter Lovins. (1999). *Natural Capitalism.* Nueva York: Little. Brown and Company.

Horne, Ralph Tim Grant y Kar1i Varghese. (2009). *Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects.* Collingwood, Australia: CSIRO Publishing.

Lee, Hau L. (Octubre 2010). Don't Tweak Your Supply Chain—Rethink it End End", *Harmard Business Review,* pp. 61-69.

McDonough, William y Michael Braungart. (2002). *Cradle to Cradle.*Nueva York: North Point Press.

Plambeck, Erica. Wal-Mart's Sustainability Strategy. Stanford Graduate School of Business, caso OIT-71.

Prokesch, Steven. (Octubre 2010). The Sustainable Supply Chain". *Harvard Business Review,* pp. 70-72.

ÍNDICE

ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La buena administración de la cadena de suministro se convierte en una ventaja competitiva, mientras que una débil puede dañar el funcionamiento de una empresa.

Esta quinta edición incorpora muchos cambios respecto a la edición anterior, basados en la retroalimentación de revisores, que mejoran significativamente el contenido del libro y facilitan su uso tanto por profesores como por alumnos.

El principal objetivo de estos cambios es que el lector reconozca la importancia que tiene para cualquier empresa el buen diseño de una cadena de suministro, así como de su planeación y operación. Se presentan muchos ejemplos para ilustrar este concepto y desarrollar un marco de trabajo estratégico.

El objetivo de los autores es ayudar, a través del contenido, a una adecuada comprensión de las siguientes áreas clave y sus interrelaciones:

- La función estratégica de una cadena de suministro.
- Los controladores clave para el buen desempeño de una cadena de suministro eficaz.
- La importancia de las metodologías para el análisis de la cadena de suministro.

Dentro de este marco de trabajo estratégico se estudian las instalaciones, el inventario, el transporte, la información, el aprovisionamiento, y la fijación de precios, como los controladores clave del desempeño de la cadena de suministro.

Para mayor información visite la página Web del libro:

www.pearsonenespañol.com/chopra

ISBN 978-607-32-2133-7

